

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-270551

(43)Date of publication of application : 25.09.2003

(51)Int.Cl.

G02B 26/02  
G01T 1/29  
G02F 1/01  
H01S 3/00  
H05G 2/00  
H05H 1/24  
// G02F 1/13  
G21K 5/02  
G21K 7/00

(21)Application number : 2002-073365

(71)Applicant : KAWASAKI HEAVY IND LTD  
JAPAN ATOM ENERGY RES INST

(22)Date of filing : 15.03.2002

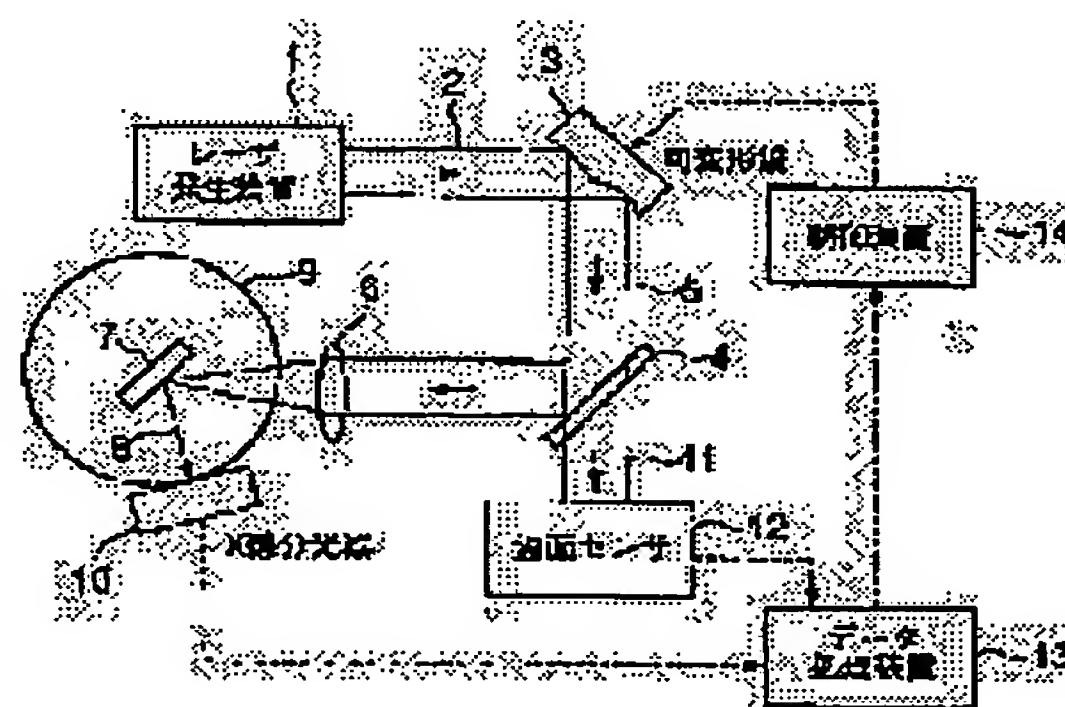
(72)Inventor : MURO MIKIO  
FUJII SADA0  
YAMAKAWA KOICHI

## (54) METHOD AND APPARATUS FOR CONTROLLING LASER PULSE AND METHOD AND APPARATUS FOR GENERATING X-RAY

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an X-ray generator having a mechanism of regulating pulse lasers so as to selectively control the intensity of X-rays, more particularly the intensity of the X-rays of a required specific wavelength with an apparatus for generating the X-rays by irradiating a target with the ultra-short light pulse lasers, etc.

**SOLUTION:** The generation of the X-rays of the specific wavelength is controlled by measuring the intensity characteristics of the X-rays generated by an X-ray spectroscope 10, feeding the result of the measurement back to a wave front phase regulating mechanism 3, regulating the wave front state of the laser beam and generating the space intensity distribution patterns of the laser beam in the position where the laser beam is condensed to the target 7 and control parameters are adjusted in such a manner that the intensity of the X-rays is optimized in accordance with the measurement result of the X-ray intensity characteristics.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

15.03.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2003-270551  
(P2003-270551A)

(43) 公開日 平成15年9月25日 (2003.9.25)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマト* (参考)
G 0 2 B 26/02		G 0 2 B 26/02	E 2 G 0 8 8
G 0 1 T 1/29		G 0 1 T 1/29	A 2 H 0 4 1
G 0 2 F 1/01		G 0 2 F 1/01	D 2 H 0 7 9
H 0 1 S 3/00		H 0 1 S 3/00	A 2 H 0 8 8
H 0 5 G 2/00		H 0 5 H 1/24	4 C 0 9 2
審査請求 有 請求項の数31 O L (全 15 頁) 最終頁に続く			

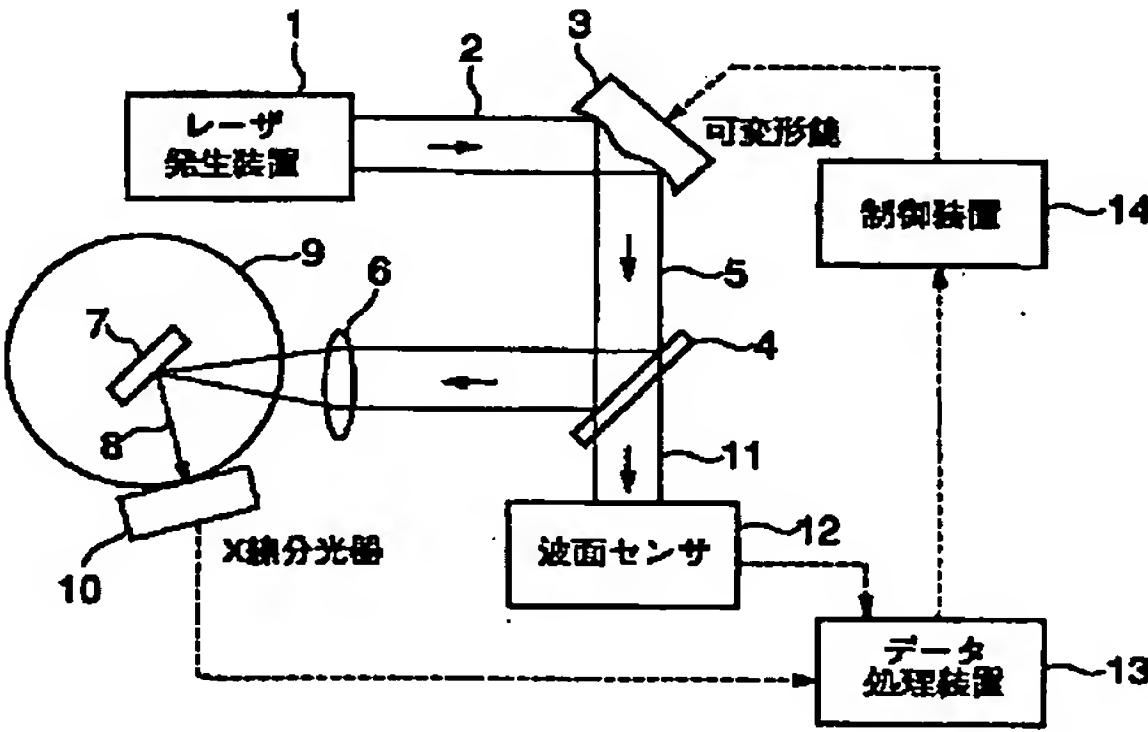
(21) 出願番号	特願2002-73365(P2002-73365)	(71) 出願人	000000974 川崎重工業株式会社 兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号
(22) 出願日	平成14年3月15日(2002.3.15)	(71) 出願人	000004097 日本原子力研究所 千葉県柏市末広町14番1号
		(72) 発明者	室 幹雄 千葉県野田市二ツ塚118番地 川崎重工業株式会社野田工場内
		(74) 代理人	100104341 弁理士 関 正治
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 レーザパルス制御方法と装置およびX線発生方法と装置

(57) 【要約】

【課題】 超短光パルスレーザなどをターゲットに照射してX線を発生させる装置において、X線の強度、特に必要とする特定波長のX線強度を選択的に制御するようにパルスレーザを調整する機構を備えたX線発生装置を提供する。

【解決手段】 X線分光器10で発生するX線の強度特性を測定し、その測定結果を波面位相調整機構3にフィードバックしてレーザビームの波面状態を調整し、ターゲット7に集光した位置におけるレーザビームの空間強度分布パターンを調整して特定波長のX線の発生を制御すると共に、X線強度特性の測定結果に基づいてX線強度が適正なものとなるように制御パラメータを調整する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 入射する超短光パルスレーザ光を分割してそれぞれ別の光路を走行させ、再び合成して得られたレーザ光を放射するレーザパルス発生方法において、一方または両方の光路内に可変形鏡を備えて該可変鏡表面形状によりパルスレーザ毎に空間強度分布が所定のパターンになるように調整すると共に、前記光路中における光路長を調整して先行パルスレーザと後続パルスレーザに時間差を与えることを特徴とするレーザパルス制御方法。

【請求項 2】 さらに前記入射超短光パルスレーザ光にチャープパルス増幅を施すことを特徴とする請求項 1 記載のレーザパルス制御方法。

【請求項 3】 前記入射超短光パルスレーザ光の分割と合成はそれぞれ偏光ビームスプリッタで行うことを特徴とする請求項 1 または 2 記載のレーザパルス制御方法。

【請求項 4】 前記入射超短光パルスレーザ光の偏光特性を調整することにより前記放射レーザ光の光強度を制御することを特徴とする請求項 3 記載のレーザパルス制御方法。

【請求項 5】 請求項 1 から 3 のいずれかの方法で得られた前記レーザ光をさらに集光してターゲットに集光した位置における該レーザビームの空間強度分布が所定のパターンになるように調整すると共に、ターゲットの表面に照射し、X線を発生させることを特徴とするX線発生方法。

【請求項 6】 レーザ光をターゲットに照射してX線を発生させるX線発生方法において、発生するX線の強度特性を測定し、レーザビームの波面状態を調整して前記ターゲットに集光した位置における該レーザビームの空間強度分布を所定のパターンにすると共に、前記X線強度特性の測定結果に基づいてX線強度が適正なものとなるように該レーザビームの波面状態を調整することを特徴とするX線発生方法。

【請求項 7】 さらに伝送光学系中のレーザビームの波面状態をモニタして前記レーザビームの空間強度分布調整状況を確認できるようにすることを特徴とする請求項 5 または 6 記載のX線発生方法。

【請求項 8】 前記測定するX線の強度特性は波長特性を含み、特定の波長におけるX線強度の計測値に基づいて、前記波面状態の補正を行うことを特徴とする請求項 5 から 7 のいずれかに記載のX線発生方法。

【請求項 9】 前記レーザ光に超短光パルスレーザを使用することを特徴とする請求項 5 から 8 のいずれかに記載のX線発生方法。

【請求項 10】 前記ターゲットに集光した位置におけるレーザビームの空間強度分布パターンが中心部が弱く周辺部が強いリング形であることを特徴とする請求項 5 から 9 のいずれかに記載のX線発生方法。

【請求項 11】 前記中心部が弱く周辺部が強いリング

形における周辺部と中心部の強度比に基づいてレーザビームの波面状態を制御することを特徴とする請求項 10 記載のX線発生方法。

【請求項 12】 レーザ光をターゲットに照射してX線を発生させるX線発生装置において、発生するX線の強度を測定するX線測定装置を配設し、レーザビーム伝送光学系中にレーザビームの波面制御装置を介装させて、前記X線測定装置によりX線の強度を測定し、該測定結果に基づいて前記波面制御装置によりレーザビームの波面状態を補正して、前記ターゲットに集光した位置におけるレーザビームの空間強度分布が所定のパターンになり、かつX線強度が適正なものとなるように調整することを特徴とするX線発生装置。

【請求項 13】 さらに、レーザビーム伝送光学系中にレーザビームの波面状態を測定する波面測定装置を配設し、該レーザビームの波面状態をモニタして前記波面制御装置のレーザビーム波面調整方法を適正化することを特徴とする請求項 12 記載のX線発生装置。

【請求項 14】 前記レーザ光が超短光パルスレーザであることを特徴とする請求項 12 または 13 記載のX線発生装置。

【請求項 15】 前記X線測定装置は、波長特性を測定することができるもので、特定の波長におけるレーザ強度に基づいて前記波面制御装置を調整することを特徴とする請求項 12 から 14 のいずれかに記載のX線発生装置。

【請求項 16】 前記波面制御装置は、可変形鏡を備えて反射面の凹凸を局所的に調整してレーザビームの波面状態を制御することを特徴とする請求項 12 から 15 のいずれかに記載のX線発生装置。

【請求項 17】 前記波面制御装置は、局所的に屈折率を調整することができる透過型光学素子を用いてレーザビームの波面状態を制御することを特徴とする請求項 12 から 15 のいずれかに記載のX線発生装置。

【請求項 18】 前記ターゲットに集光した位置におけるレーザビームの空間強度分布パターンが中心部が弱く周辺部が強いリング形であることを特徴とする請求項 12 から 17 のいずれかに記載のX線発生装置。

【請求項 19】 前記中心部が弱く周辺部が強いリング形における周辺部と中心部の強度比に基づいて前記波面制御装置を制御することを特徴とする請求項 18 記載のX線発生装置。

【請求項 20】 光分割器、1個以上の可変形鏡を含む2個の反射鏡、1個または2個の光学遅延回路、および光合成器を備え、入射した超短光パルスレーザを前記光分割器で2分し、それぞれを前記反射鏡で反射して前記光合成器で再び合成してレーザビームとするときに分割されたレーザパルスそれぞれの光路長が等しくなるように配置し、前記可変形鏡の反射面形状を調整することによりそれぞれのレーザパルスが前記ターゲットに集光し



た位置における空間強度分布を調整するようにした上で、さらに該分割されたレーザービームの一方または両方の光路中に前記光学遅延回路を介装して、前記それぞれのレーザーパルスが前記光合成器に到達する時刻に差異を生じさせるようにしたことを特徴とするレーザーパルス制御装置。

【請求項21】 さらに、前記光路中にパルスストレッチャーとレーザー増幅器とパルス圧縮器を有するチャープパルス増幅装置を備えることを特徴とする請求項20記載のレーザーパルス制御装置。

【請求項22】 前記パルスストレッチャーと前記レーザー増幅器を超短光パルスレーザー発生装置と前記光分割器の間に、かつ前記パルス圧縮器を前記光合成器と前記収束光学系の間に備えることを特徴とする請求項21記載のレーザーパルス制御装置。

【請求項23】 前記光分割器と光合成器が偏光ビームスプリッターであることを特徴とする請求項20から22のいずれかに記載のレーザーパルス制御装置。

【請求項24】 さらに前記光分割器の上流に偏光面回転素子を備えることを特徴とする請求項23記載のレーザーパルス制御装置。

【請求項25】 前記光分割器と光合成器がハーフミラーであることを特徴とする請求項20から22のいずれかに記載のレーザーパルス制御装置。

【請求項26】 光分割器、請求項20から25のいずれかに記載のレーザーパルス制御装置からなる単位パルス制御装置を2式、および光合成器を備え、入射した超短光パルスレーザーを前記光分割器で2分し、それぞれを前記2式の単位パルス制御装置のそれぞれに入射して、パルスの空間強度分布とパルス同士の時間間隔が調整された2個のパルスレーザーを含むレーザービームを得て、該レーザービームを前記光合成器で再び合成して、4個のパルスレーザーを含むレーザービームを形成することを特徴とするレーザーパルス制御装置。

【請求項27】 レーザ光をターゲットに照射してX線が発生させるX線発生装置において、超短光パルスレーザー発生装置と、請求項20から26のいずれかに記載のレーザーパルス制御装置、および収束光学系を備え、該超短光パルスレーザー発生装置で発生したレーザーパルスを前記レーザーパルス制御装置に入射して得られるレーザー光を前記収束光学系で前記ターゲットに照射することを特徴とするX線発生装置。

【請求項28】 請求項25または26記載のレーザーパルス制御装置を用いた請求項27記載のX線発生装置において、前記レーザーパルス制御装置から放出される直交した2本のレーザービームはそれぞれターゲットに集光するようにしたことを特徴とするX線発生装置。

【請求項29】 前記2本のレーザービームは同じターゲットに集光するようにしたことを特徴とする請求項28記載のX線発生装置。

【請求項30】 さらに発生するX線の強度を測定するX線測定装置を配設し、ターゲットから発生するX線量の値に基づき、前記ターゲットに到着するレーザービーム中の先に到達する先行パルスと後に到達する後続パルスにおけるエネルギー密度ピークの強度比と、ビーム径と、時間差をパラメータとして、前記可変形鏡の形状と光学遅延回路の遅延距離を調整することによりX線発生量を制御することを特徴とする請求項27から29のいずれかに記載のX線発生装置。

10 【請求項31】 前記先行パルスはターゲットの集光した位置における空間強度分布パターンが中心部にピークを持つように細く絞った形状を有し、前記後続パルスは中心部が弱く周辺部が強いリング形の空間強度分布を持つことを特徴とする請求項30記載のX線発生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、レーザー光をターゲットに照射してX線が発生させるX線発生方法および装置に関し、特に高出力超短光パルスレーザーを使用して特定波長のX線が発生させるX線発生方法および装置に関する。

【0002】

【従来の技術】高強度レーザー光を金属表面に照射すると金属表面に形成されるプラズマから高輝度のX線が発生する。特に超短光パルスレーザー光を用いることにより比較的低いエネルギーで極めて高輝度のX線が得られる。超短光パルスレーザーをターゲットに照射してX線を得るようにしたX線発生装置では、X線出力は、ターゲットの材質や形状、レーザービームの波長、空間強度分布や時間波形など、非常に多くのパラメータに左右される。また、ターゲット表面に発生するプラズマの状態や照射するレーザー光の偏光によっても影響を受けることが分かっている。

【0003】しかし、従来のX線出力制御は、レーザービームの総合的強度すなわち波長全体にわたる積分値としてのエネルギー強度、あるいはパルスレーザーを用いるときはパルス間隔の調整などによる方法が用いられているため、X線出力を精密に制御することは難しかった。なお、レーザーの光質を向上させるため、たとえば可変形鏡などを使用してレーザー出力ビームの波面補償制御を行うことにより平坦な波面を形成して、回折限界ビームを生成させるような制御システムの概念は従来にも存在した。また、従来は、レーザービームの集光系の焦点をずらすなどしてレーザーパルスX線のエネルギー強度を調整するようにしているが、レーザー自体の空間強度分布を変化させることができないため、最適な調整をすることができなかった。

【0004】たとえば、特開平9-184900には、発生したX線の強度を測定してX線露光量が設定値と一致するように最後のパルスレーザーショットの強度を調整

するようにしたパルスX線照射装置が開示されている。ビーム強度調整は、光路中に設けた透過率可変フィルターや、Qスイッチレーザ装置におけるQスイッチの作動開始信号とレーザ媒質の励起開始信号の時間差を用いるなどの方法によって行っている。この装置によれば、パルスX線源の出力がショット毎に揺らいでも設定X線照射量と積算X線照射量を一致させることができる。

【0005】また、特開平8-213192には、短パルスレーザ光をハーフミラーで分割して光学遅延回路で光路長差を与えた後に同じターゲット表面に照射することにより、高ピークパワーを有する主パルスレーザ光に先行してピークパワーの小さい副パルスレーザ光を照射するようにしたX線発生装置が開示されている。この装置は、副パルスレーザ光により予備プラズマを発生させて、この予備プラズマを主パルスレーザ光で加熱するもので、両パルスレーザ光の時間間隔を制御することにより発生するX線量を変調させることができる。

【0006】しかし、X線的作用を利用するときには、単にその総体的なエネルギーを問題にするのではなく、化学物質や生体物質の吸収反応、単波長X線を使用した集積回路の製造など、特定波長におけるX線作用が重大な関心となる場合も多い。ところが、特定のスペクトル線の強度を制御する簡単な方法はまだ開発されていない。なお、主パルスレーザ光と副パルスレーザ光の時間間隔を制御してX線量を調整する方法が知られているが、単に強度の異なるパルスレーザを前後して用いるものでしかなく、レーザ光の空間強度分布、時間波形、偏光状態を調整して発生させるX線の特性を精密に制御するものではない。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】そこで、本発明が解決しようとする課題は、超短光パルスレーザの空間強度分布、時間波形あるいは偏光状態を調整するようにしたレーザパルス制御方法と装置を提供することであり、また、超短光パルスレーザなど高強度のレーザビームをターゲットに照射してX線を発生させる方法と装置であって、X線の強度、特に必要とする特定波長のX線強度を選択的に制御するようにパルスレーザを調整する機構を備えたX線発生方法と装置を提供することである。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、本発明のレーザパルス制御方法は、入射する超短光パルスレーザ光を分割してそれぞれ別の光路を走行させ、再び合成して得られたレーザ光を放射するレーザパルス発生方法において、一方または両方の光路内に可変形鏡を備えて該可変鏡表面形状によりパルスレーザ毎に空間強度分布が所定のパターンになるように調整すると共に、光路中における光路長を調整して先行パルスレーザと後続パルスレーザに時間差を与えることを特徴とする。さらに、パルスストレッチャーとレーザ増幅器とパ

ルス圧縮器を有するチャープパルス増幅器を備えてピーク値をさらに高くしたパルスレーザ光とすることができる。また、偏光ビームスプリッタを用いることにより、偏光状態を特定した超短光パルスレーザ光とすることができる。なお、偏光ビームスプリッタを使用するときは、入射レーザ光の偏光特性を調整することにより分割したレーザ光の強度に差を持たせることができる。

【0009】本発明のレーザパルス制御方法によれば、超短光パルスレーザを変成して任意に設定したフェムト秒f sからピコ秒p s水準の短い時間間隔で繋がったパルスとして発生させることができる。さらに、それぞれのパルスの空間強度分布を別々に調整することができる。また、パルスレーザの偏光状態を指定することも可能である。高強度レーザパルスを物質に照射して、原子核反応、プラズマ反応、化学反応、同位体分離などのプロセスを生起させることができる。こうしたプロセスにより、化学物質や元素の合成、分解、分離などや、原子、分子、イオン、電子、陽電子、中性子、クラスターなどの粒子生成や、X線、 $\gamma$ 線などの電磁波の発生を行わせることができる。上記技術は、半導体、化学、エネルギー、医療、機械などの産業分野や、粒子加速器などの基礎研究などへの応用が期待されている。

【0010】本発明のレーザパルス制御方法によれば、超短光パルスレーザ光の空間強度分布と時間波形、また必要があれば偏光状態まで任意に調整して、発生させるX線の特性を精密に制御することができるので、上記プロセスを適宜に制御することが可能となる。さらに、P偏光とS偏光の光強度比を調整してそれぞれを効果的に作用させることができる。また、本発明のレーザパルス制御方法により生成した超短光パルスレーザ光をターゲットに照射してX線を発生させることにより、ターゲット位置におけるレーザ光の空間強度分布と照射時間間隔を適宜に調整することができるので、上記プロセスの設計を微細な点にわたって行うことができる。

【0011】また、上記課題を解決するため、レーザ光をターゲットに照射してX線を発生させるX線発生装置に適用する本発明のX線発生方法は、発生するX線の強度特性を測定し、ターゲットに集光した位置におけるレーザビームの空間強度分布を所定のパターンにすると共に、X線強度特性の測定結果に基づいてX線強度が適正なものとなるようにレーザビームの波面状態を調整することを特徴とする。本発明のX線発生方法によれば、発生したX線の特性を測定して、その測定結果をレーザビームの空間強度分布パターンにフィードバックすることにより、X線の発生を制御するので、目的の特性が最適な値を取るようなX線を効率よく発生させることができる。

【0012】なお、伝送光学系中のレーザビームの波面状態をモニタしてレーザビームの空間強度分布調整状況を確認すると共に、空間強度分布に関するパラメータ



を適当に調整してX線を適正化するようにすることが好ましい。ターゲット位置におけるレーザービームの空間強度分布を直接知る方法はないが、伝送ビームの一部をビームスプリッターで分岐させその集光パターン（ファースフィールドパターン）からターゲット位置における空間強度分布を推定したり、調整結果をレーザービームの波面状態から推定することができるからであり、またレーザービームの波面状態を直接的に知ることにより空間強度分布パターンを左右するパラメータを調整したときなどに結果を的確に把握することができるからである。

【0013】また、X線の強度特性として波長特性を測定し、目的とする特定波長におけるX線強度の計測値に基づいて、レーザービームの波面状態の調整を行うことができるようにしてもよい。発生させるX線は目的によって決まる適正な波長成分が多く含まれるようにすることが好ましい。X線の波長特性を測定するようにすれば、目的波長のX線強度を測定して、この強度が大きくなるように空間強度分布を調整するようにすることができる。なお、本発明の方法は、パルス幅がピコ秒からフェムト秒しかない超短光パルスレーザーを用いてX線を発生

させる場合にも適用することができる。超短光パルスレーザーを用いると、短時間ではあるが極めて高い強度のエネルギーを与えることができるので、ターゲット物質を効率よくプラズマ化し効率的なX線発生が可能である。【0014】ここで、ターゲットに集光した位置におけるレーザービームの空間強度分布パターンは、中心部が弱く周辺部が強いリング形に形成することが好ましい。このようなカルデラ状の強度分布をとることにより、ターゲット位置における温度分布が台形状になって高温部分の面積が広がるので、発生するX線の特性が安定し、良質のX線を得ることができる。また、空間強度分布パターンにおけるリング形の周辺部と中心部の強度比に基づいてレーザービームの波面状態を制御することができる。ターゲット位置におけるレーザーの空間強度分布パターンは可変形鏡や液晶素子などの波面制御装置により調整することができ、周辺部と中心部の強度比によってターゲットのレーザー照射位置におけるプラズマの温度を調整することができる。上記プラズマ温度は発生するX線の波長毎の強度に大きく影響を与えるので、X線の波長特性を測定して波面制御装置にフィードバックすることにより、所定の波長におけるX線強度を自動的に制御することができる。

【0015】また、上記課題を解決するため、本発明のX線発生装置は、発生するX線の強度を測定するX線測定装置を配設し、レーザービーム伝送光学系中にレーザービームの波面制御装置を介装させて、X線測定装置によりX線の強度を測定し、その測定結果に基づいて波面制御装置によりレーザービームの波面状態を調整して、ターゲットに集光した位置におけるレーザービームの空間強度分布を所定のパターンにし、かつX線強度を適正なものと

することを特徴とする。本発明のX線発生装置は、X線の特性を測定した結果に基づき、推定して求めるターゲット位置における空間強度分布が所定のパターンになるようにレーザービームの波面状態を調整するので、発生するX線の性状を望まれる最適な状態に制御することができる。

【0016】さらに、本発明のX線発生装置において、レーザービーム伝送光学系中にレーザービームの波面状態を測定する波面測定装置を配設し、レーザービームの波面状態をモニタして波面制御装置のレーザービーム波面調整方法を適正化することが好ましい。なお、使用するレーザー光は超短光パルスレーザーであってもよい。さらに、X線測定装置は、波長特性を測定するもので、測定結果から抽出した特定の波長におけるレーザー強度に基づいて波面制御装置を調整するように構成することが好ましい。X線の波長特性を測定することにより、X線発生装置に要求される特定波長のX線を選択的に制御することができる。

【0017】なお、波面制御装置は、可変形鏡を備えて反射面の凹凸を局所的に調整してレーザービームの波面状態を制御するようにすることができる。また、波面制御装置は、局所的に屈折率を調整することができる透過型光学素子を用いてもよい。なお、ターゲットに集光した位置におけるレーザービームの空間強度分布パターンを中心部が弱く周辺部が強いリング形に形成することが好ましい。さらに、このリング形の空間強度分布パターンにおける周辺部と中心部の強度比に基づいて波面制御装置を制御するようにすることができる。

【0018】さらに、本発明のレーザーパルス制御装置は、上記課題を解決するため、光分割器、1個以上の可変形鏡を含む2個の反射鏡、1個または2個の光学遅延回路および光合成器を備え、光分割器と反射鏡と光合成器を入射したレーザーパルスを光分割器で分割しそれぞれ反射鏡で反射し光合成器で合成してレーザービームとするときに分割されたレーザーパルスそれぞれの光路長が等しくなるように配置して、いわゆるマッハ・ツェンダー干渉計と同じ光学系が形成されるようにし、さらに反射鏡として用いる可変形鏡の反射面形状を調整することによりそれぞれのレーザーパルスの空間強度分布を調整して、レーザー光がターゲットに集光した位置における空間強度分布が所定のパターンになるようにした上で、さらに分割されたレーザービームの一方または両方の光路中に介装した光学遅延回路によりそれぞれのレーザーパルスが光合成器に到達する時刻に差異を生じさせることができるようにしたことを特徴とする。

【0019】本発明のレーザーパルス制御装置は、発振時間の短い超短光パルスレーザーのレーザーパルスを2個のレーザーパルスに分割して、それぞれのレーザーパルスについて遅延時間を調整することにより、2個のレーザーパルスが極く短い時間間隔で並んだレーザー光を作成することが

できる。しかも、可変形鏡により 2 個のパルスの空間強度分布をそれぞれ独立に調整することができる。したがって、レーザ光の調整が広がるばかりでなく、 $f$  から  $p$  の超短時間間隔で続けて到達する 2 個以上のパルスの空間強度分布をそれぞれ任意に変えることができる新しい超短光パルスレーザ制御法を提供して、従来不可能だった色々な種類のレーザ反応プロセスの制御を行うことができるようになる。

【0020】なお、偏光ビームスプリッタで光分割器と光合成器を構成し、レーザ光の偏光を利用してビームを分割し合成するようにすると、時間差を持ってターゲットに照射するレーザの偏光を一方の状態に特定することができる。偏光状態によりレーザ光に対する反応が支配される場合があるので、偏光状態を選択することにより X 線の発生量や波長を調整するなど反応プロセス制御の新しい手段を提供することになる。さらに、入射レーザビームを偏光面回転素子に通すことにより、光分割器で分配される 2 個のレーザ光の強度比を調整することができるので、時間差をもってターゲットに照射する 2 つのパルスの強度比を制御することができる。また、上記レーザパルス制御装置を並列に 2 式用いて、任意の空間強度分布を有する超短光パルスが 4 個並んだレーザ光を得ることができる。

【0021】また、本発明の X 線発生装置は、上記課題を解決するため、超短光パルスレーザ発生装置、本発明に係るレーザパルス制御装置、および収束光学系を備え、超短光パルスレーザ発生装置から射出される超短光パルスレーザをレーザパルス制御装置に入射して得られるレーザ光を収束光学系でターゲットに照射することにより X 線を発生させることを特徴とする。

【0022】本発明の X 線発生装置は、互いに独立に空間強度分布を設定した超短光パルスレーザが 2 個または 4 個、極く短い時間間隔で X 線ターゲットに入射するので、従来不可能だった色々な種類の X 線を発生させることができるようになる。また、偏光状態によりレーザ光に対する反応が支配される場合があるので、ターゲットに照射するレーザパルス毎の偏光状態を選択することにより X 線の特性や発生量を調整することができる。

【0023】

【発明の実施の形態】以下実施例を用いて本発明を詳細に説明する。

【0024】

【実施例 1】本実施例の X 線発生装置は、パルスレーザ発生装置で発生するレーザビームをターゲットの表面に集光してプラズマを生成し、そこから X 線を発生させるもので、レーザビームの光路中に波面位相調整機構を配設してレーザビームの波面位相分布を適当に調整することにより、ターゲット表面に集光したところにおけるレーザビームの空間強度分布を制御して目的とする X 線を得るようにしたものである。図 1 は本実施例の X 線発生

装置の構成図、図 2 は本実施例に用いる波面計測法の例を示す概念図、図 3 は本実施例の装置における制御の流れを示したフロー図、図 4 と図 5 はレーザビームの集光強度分布とターゲットの温度分布の関係を示すグラフである。

【0025】本実施例の X 線発生装置は波面位相調整機構として可変形鏡を用いたもので、図 1 に示すように、超短光パルスレーザ発生装置 1、可変形鏡 3、反射鏡 4、レンズ 6、真空容器 9 内にセットされたターゲット 7、X 線分光器 10、波面センサ 12、データ処理装置 13、制御装置 14 を備える。超短光パルスレーザ発生装置 1 で発生するレーザビーム 2 を可変形鏡 3 で波面位相分布調整した後に、反射鏡 4 でレンズ 6 に投入して真空容器 9 内にセットされたターゲット 7 に集光させ、発生したプラズマから X 線 8 を発生させる。真空容器 9 には X 線分光器 10 が X 線利用に障害にならないように設けられていて、発生した X 線 8 の X 線強度波長分布を測定する。

【0026】本実施例に用いる可変形鏡 3 は、レーザ波面の歪みを補正して波面を平面にするために使用するため反射面の凹凸を局所的に調整することができるように構成されたデフォーミャブルミラー DM と呼ばれるものなどを利用することができる。たとえば薄い石英板の表面に反射コーティングを施した反射鏡板の裏に積層ピエゾ素子をアレイ状にならべたものなどがある。この可変形鏡は、各ピエゾ素子に加える電圧を調整し電歪効果を用いて鏡面を任意に変形させることができる。なお、これ以外の形式の可変形鏡を利用しても本発明の趣旨を逸脱することにならないことはいうまでもない。

【0027】また、反射鏡 4 は、レーザビームの一部を透過する性質を有し、透過したレーザ 11 は波面センサ 12 に入射する。波面センサ 12 には、コリメーションレンズの後方に形成される開口面の像の位置に多数の小さなレンズからなるレンズアレイを置き結像させて、スポット像の位置のずれから各々の場所での波面の傾きを求めるシャック・ハルトマン型波面センサを使うことができる。もちろん他の形式の波面センサを利用することもできる。

【0028】本実施例では、図 2 に示すような波面センサにより波面を求める。この波面センサは、レーザビーム伝送路 20 中の離れた 2 点に部分反射鏡 21、22 を備え、反射光をレンズ系 23、24 を介してイメージセンサ 25、26 に入射させて、レーザ光軸に垂直な面の空間強度分布を同時に測定する。レーザビーム伝送路中、上流側に設けたイメージセンサ 25 で測定した光束内の強度分布に基づいてレーザビームの初期位相を仮定し、下流側のイメージセンサ 26 における強度分布を光の回折理論によるビーム伝播の計算値から求める。この計算値と下流側イメージセンサ 26 で得られる強度分布の実測値を比較し差が無くなるように初期位相を補正す



ることによりレーザービームの波面分布を求めることができる。

【0029】本実施例のX線発生装置は、図3に概略的に示すような手順でX線発生を制御する。X線分光器10が、発生したX線8のX線強度波長分布を測定し、測定結果はデータ処理装置13に送信される(S1)。データ処理装置13は、X線強度分布の測定結果に基づいて所定の波長における強度など目的に対応したX線スペクトルの評価をする(S2)。さらに、評価結果に基づいて制御パラメータの変動させるべき量を算定して、制御装置14に指示信号を供給し(S3)、制御装置14が可変形鏡(デフォーミブルミラー)3の対応位置のアクチュエータを作動させ反射面形状を制御して、レーザービームの波面状態を調整することにより(S4)、レーザービームが集光するターゲット7表面における空間強度分布を調整し、ターゲット7の表面に発生するプラズマから放出されるX線の強度分布が望ましいパターンになるようにする。

【0030】また、波面センサ12は、可変形鏡3でレーザービームの波面状態を調整した結果を測定し、レーザービームの波面分布計測結果はデータ処理装置13に与えられる(S5)。集光位置におけるレーザービームの空間強度分布を直接測定することが好ましいのであるが、集光位置では高エネルギー状態になっているため適当な測定方法がない。そこでエネルギー密度が低い位置で波面状態を測定することにより集光位置における強度分布を推定するようにしたものである。データ処理装置13は、X線スペクトルの測定結果とレーザービームの波面計測結果を突き合わせることで、必要なX線特性を得るためにいわゆるニアフィールドにおけるレーザービームの空間強度分布パターンの最適状態を解析した結果を用いて、上記手順S3における制御装置14に対する指示信号を生成する(S6)。

【0031】本実施例のレーザープラズマX線発生装置は、可変形鏡3によりレーザービームのニアフィールドにおける波面位相分布を調整して集光位置における空間強度分布を最適化するため、たとえばX線を利用するために必要なある特定の波長におけるX線強度が最大になるように調整することができる。図4と図5は、集光位置におけるレーザービームの空間強度分布パターンと作用の関係为例示したものである。両図共、(a)は集光位置におけるレーザービーム空間強度分布を示し、(b)では実線でターゲット表面に発生するプラズマの密度分布、破線でプラズマ温度分布を示し、(c)では実線でレーザーパルス照射後時間が経過した後のプラズマ密度分布、破線で温度分布を示す。

【0032】図4は、集光位置におけるレーザービームの空間強度分布をリング型にした場合である。可変形鏡3に入射するレーザービーム2の光強度は、普通、光軸に垂直な方向にガウシアン分布している。しかし、可変形鏡

3の表面の凹凸分布を調整することにより、レンズ6によりターゲット7に集光したときの強度分布が外周部が高く中心部が低いリング型にすることができる(図4(a))。ターゲット7の表面にリング型の強度分布パターンが形成されると、ターゲット材質や形状、またレーザー特性などにより決まる閾値を越えた強度を示す外周部だけにプラズマが発生し中央部にはプラズマが発生しないので、リング状のプラズマ分布が生成することになる。このとき、プラズマ発生部における温度はプラズマ部分は少し外側に漏れ出した高温部がありレーザーエネルギーを受けて若干温度が高くなった中央部があるような井戸型の分布を呈する(図4(b))。

【0033】さらに、レーザービームの照射を終了して時間が経過すると、プラズマは平準化して周辺に広がり、温度分布もプラズマの広がりに対応して広がるが、中央には十分広い平坦な高温部を形成させることができる(図4(c))。X線の波長スペクトルはプラズマ温度によって大きく左右されるため、温度分布が広い等温部を有することは特性の等しいX線を効率よく取得する上で効果がある。また、所定の波長におけるX線に注目する場合にも、プラズマ温度を調整することによって、その強度を制御することができる。

【0034】図5は、リング型分布において中央部の強度が外周部と同じになった場合に当たる円柱状分布を取る場合を説明する図面である。集光位置におけるレーザービーム空間強度分布が円柱状であるときは(a)、レーザー照射時におけるプラズマ密度分布は円柱状になり、プラズマ温度も円柱状になる(b)。照射後、適当時間経過すると、プラズマは周辺部に拡大し、プラズマ温度は中央部が高い円錐台形になる(c)。このときの最高温度領域はリング状分布の場合より狭い代わりに、温度水準は高くなる。

【0035】プラズマ発生量と温度分布は、集光位置におけるレーザービーム空間強度分布パターンであるリングの内外径や外周部と中央部の高さなど形状パラメータにより調整することができる。レーザービームのエネルギーが同じであっても、レーザービーム空間強度分布においてプラズマ発生閾値以上の強度を有する領域が大きければプラズマ発生量が大きくなり、外周部と中央部の強度差が小さくなって中央部の強度が強くなればプラズマ温度のピーク値が高くなる。また、一般的に、短波長のX線が発生させるためにはプラズマが高温でなければならないが、長波長のX線は低温プラズマから発生させることができるので、レーザービーム空間強度分布を調整することにより目的とするX線を最大化化することができる。

【0036】そこで、発生したX線をX線分光器10で計測して、レーザービームの空間強度分布と対応させることにより、目的とするX線の強度制御を行う。なお、前述のように、可変形鏡3で調整した状態は波面センサ12により確認することができる。波面分布測定結果はX



線強度とレーザ波面位相分布の関連性を解析するために使用し、最適なレーザ空間強度分布状態を推定したり、的確に可変形鏡3の表面凹凸分布状態を制御するための補助とする。

【0037】また、X線分光器10の出力から目的の波長におけるX線強度を検出して、これを最適値にするようにレーザビームの集光位置における空間強度分布を自動的に調整することができる。所定のX線強度と強い相関を示すものにリング状空間強度分布の外周部と中央部の高さ偏差がある。自動制御には、この高さ偏差を操作関数として使用することができる。なお、外周部の内径や外径もX線強度に影響を与えるので、条件が変化したときにこれらをパラメータとして調整することができる。

【0038】さらに、外周部と中心部の強度比をパラメータとして順次走査する制御系を用いることにより、空間強度分布の最適値に自動的に到達できるようにすることも可能である。なお、本実施例のX線発生装置は、ターゲットの材質や形状あるいは表面加工状態が異なっても、同様の手順でレーザ集光ビームの空間強度分布を最適化して目的のX線の強度調整を行うことができる。また、本実施例では超短光パルスレーザを使用した。他のレーザ光を利用する場合においても全く同じ機構を適用することができるというまでもない。

【0039】

【実施例2】図6は本発明第2の実施例の構成を示す概念図である。本実施例は、第1の実施例と比較すると波面位相調整機構に透過型波面補正光学系を利用したところのみが異なるだけであるので、機能が共通する素子については図1に用いた参照番号を使用して、説明を簡略化する。超短光パルスレーザ発生装置1で発生するレーザビームは透過光学素子30を透過する間に局所的な屈折率変化または透過率変化によりレーザ光の強度分布もしくは位相分布を変成して反射鏡4に入射し、レンズ6によりターゲット7の表面に照射してプラズマを発生させる。

【0040】本実施例では、液晶で形成される透過光学素子30を用いて、制御装置14から供給される制御信号に従って液晶内の屈折率もしくは透過率を変化させて、透過レーザの波面分布を調整し、ターゲット7に集光したときのレーザビームの空間強度分布を制御する。集光されたレーザビームの強度は極めて高いが、レーザビームが収束する前のレーザビーム伝送路中ではまだレーザエネルギー密度が大きくないので、液晶素子を挿入することができる。液晶素子などは、透過率の局所的制御が容易で、制御技術も確立されているため、経済的かつ確実な波面位相調整機構を構成することができる。なお、透過光学素子は透過率あるいは屈折率を変化させることができるものであればよく、液晶以外にも各種の光学素子を利用することができる。

【0041】

【実施例3】本発明第3の実施例のレーザパルス制御装置は、いわゆるマッハ・ツェンダー干渉計と同じ構成を有する光学系を活用したもので、入射する超短光パルスレーザ光を分割してそれぞれ別の光路を走行させ、再び合成して得られたレーザ光を放射するレーザパルス発生装置であるが、さらに分割されたレーザ光の光路内に光学遅延回路を用いて光路長を調整して先行パルスレーザと後続パルスレーザに時間差を与えるようにすると共に、反射鏡として可変形鏡を用いてパルスレーザ毎に空間強度分布を調整できるようにした装置である。

【0042】図7は本実施例のレーザパルス制御装置の構成図、図8は本実施例のレーザパルス制御装置を用いたレーザ発生装置の全体の構成を示すブロック図、第9図は本実施例のレーザパルス制御装置の別の態様を示す構成図、図10はさらに別の態様を示す構成図、図11は本実施例装置の出力の利用法を説明するブロック図、図12は本実施例の装置で得られる出力パルスの形状例を説明する概念図、図13は図12の出力パルスをX線ターゲットに照射した時の作用を説明する図面である。

【0043】図7に示すように、本実施例のレーザパルス制御装置40は、光分割器41、2個の反射鏡42、43、光合成器44、光学遅延回路ORC45、46から構成され、パルスレーザ発生装置47から放射されるパルスレーザの空間強度分布と時間波形を制御する。レーザパルス制御装置40に入射するパルスレーザは、ビームスプリッタBSで形成される光分割器41で2個のレーザ光に分割され、それぞれ反射鏡42、43で反射し、ビームスプリッタBSで形成される光合成器44で再び統合されてレーザ光として放出される。

【0044】光学遅延回路45、46は4枚の反射鏡を図7に示すように直列に配置し、反射鏡間の距離により光路長を調整するもので、分割されたパルスレーザそれぞれの光路中に介装され、光路長を調整することにより分割されたパルスレーザが光合成器44に到達する時刻にわずかな差を生じさせる。本実施例のレーザパルス制御装置40は、反射鏡42、43に可変形鏡を用いるところに特徴を有する。可変形鏡は電歪素子などにより表面形状を局所的に調整することができる反射鏡で、入射光束の部分々々で反射方向を変化させることにより反射した光束の空間強度分布を調整することができる。なお、可変形鏡による調整は、レーザ光を作用させる位置における空間強度分布に基づいて行うことが好ましい。

【0045】本実施例のレーザパルス制御装置40は、超短光パルスレーザが入射すると、光分割器41で2個のパルスレーザに分割され、それぞれ別々に可変形鏡42、43で空間強度分布を調整された上で、光合成器44に入射して再び1個のレーザ光となって射出する。分割されたパルスレーザは光路長が異なるため光合成器44に到達する時刻に差異が生じ、1個に合成されたレー

線強度とレーザ波面位相分布の関連性を解析するために使用し、最適なレーザ空間強度分布状態を推定したり、的確に可変形鏡3の表面凹凸分布状態を制御するための補助とする。

【0037】また、X線分光器10の出力から目的の波長におけるX線強度を検出して、これを最適値にするようにレーザビームの集光位置における空間強度分布を自動的に調整することができる。所定のX線強度と強い相関を示すものにリング状空間強度分布の外周部と中央部の高さ偏差がある。自動制御には、この高さ偏差を操作関数として使用することができる。なお、外周部の内径や外径もX線強度に影響を与えるので、条件が変化したときにこれらをパラメータとして調整することができる。

【0038】さらに、外周部と中心部の強度比をパラメータとして順次走査する制御系を用いることにより、空間強度分布の最適値に自動的に到達できるようにすることも可能である。なお、本実施例のX線発生装置は、ターゲットの材質や形状あるいは表面加工状態が異なっても、同様の手順でレーザ集光ビームの空間強度分布を最適化して目的のX線の強度調整を行うことができる。また、本実施例では超短光パルスレーザを使用したか、他のレーザ光を利用する場合においても全く同じ機構を適用することができることはいうまでもない。

【0039】

【実施例2】図6は本発明第2の実施例の構成を示す概念図である。本実施例は、第1の実施例と比較すると波面位相調整機構に透過型波面補正光学系を利用したところのみが異なるだけであるので、機能が共通する素子については図1に用いた参照番号を使用して、説明を簡略化する。超短光パルスレーザ発生装置1で発生するレーザビームは透過光学素子30を透過する間に局所的な屈折率変化または透過率変化によりレーザ光の強度分布もしくは位相分布を変成して反射鏡4に入射し、レンズ6によりターゲット7の表面に照射してプラズマを発生させる。

【0040】本実施例では、液晶で形成される透過光学素子30を用いて、制御装置14から供給される制御信号に従って液晶内の屈折率もしくは透過率を変化させて、透過レーザの波面分布を調整し、ターゲット7に集光したときのレーザビームの空間強度分布を制御する。集光されたレーザビームの強度は極めて高いが、レーザビームが収束する前のレーザビーム伝送路中ではまだレーザエネルギー密度が大きくないので、液晶素子を挿入することができる。液晶素子などは、透過率の局所的制御が容易で、制御技術も確立されているため、経済的かつ確実な波面位相調整機構を構成することができる。なお、透過光学素子は透過率あるいは屈折率を変化させることができるものであればよく、液晶以外にも各種の光学素子を利用することができる。

【0041】

【実施例3】本発明第3の実施例のレーザパルス制御装置は、いわゆるマッハ・ツェンダー干渉計と同じ構成を有する光学系を活用したもので、入射する超短光パルスレーザ光を分割してそれぞれ別の光路を走行させ、再び合成して得られたレーザ光を放射するレーザパルス発生装置であるが、さらに分割されたレーザ光の光路内に光学遅延回路を用いて光路長を調整して先行パルスレーザと後続パルスレーザに時間差を与えるようにすると共に、反射鏡として可変形鏡を用いてパルスレーザ毎に空間強度分布を調整できるようにした装置である。

【0042】図7は本実施例のレーザパルス制御装置の構成図、図8は本実施例のレーザパルス制御装置を用いたレーザ発生装置の全体の構成を示すブロック図、第9図は本実施例のレーザパルス制御装置の別の態様を示す構成図、図10はさらに別の態様を示す構成図、図11は本実施例装置の出力の利用法を説明するブロック図、図12は本実施例の装置で得られる出力パルスの形状例を説明する概念図、図13は図12の出力パルスをX線ターゲットに照射した時の作用を説明する図面である。

【0043】図7に示すように、本実施例のレーザパルス制御装置40は、光分割器41、2個の反射鏡42、43、光合成器44、光学遅延回路ORC45、46から構成され、パルスレーザ発生装置47から放射されるパルスレーザの空間強度分布と時間波形を制御する。レーザパルス制御装置40に入射するパルスレーザは、ビームスプリッタBSで形成される光分割器41で2個のレーザ光に分割され、それぞれ反射鏡42、43で反射し、ビームスプリッタBSで形成される光合成器44で再び統合されてレーザ光として放出される。

【0044】光学遅延回路45、46は4枚の反射鏡を図7に示すように直列に配置し、反射鏡間の距離により光路長を調整するもので、分割されたパルスレーザそれぞれの光路中に介装され、光路長を調整することにより分割されたパルスレーザが光合成器44に到達する時刻にわずかな差を生じさせる。本実施例のレーザパルス制御装置40は、反射鏡42、43に可変形鏡を用いるところに特徴を有する。可変形鏡は電歪素子などにより表面形状を局所的に調整することができる反射鏡で、入射光束の部分々々で反射方向を変化させることにより反射した光束の空間強度分布を調整することができる。なお、可変形鏡による調整は、レーザ光を作用させる位置における空間強度分布に基づいて行うことが好ましい。

【0045】本実施例のレーザパルス制御装置40は、超短光パルスレーザが入射すると、光分割器41で2個のパルスレーザに分割され、それぞれ別々に可変形鏡42、43で空間強度分布を調整された上で、光合成器44に入射して再び1個のレーザ光となって射出する。分割されたパルスレーザは光路長が異なるため光合成器44に到達する時刻に差異が生じ、1個に合成されたレー



(a)は、先行光パルスがターゲットに到達した時の強度分布を概念的に示す。先行パルスのエネルギーは光軸周辺に集中しており、ターゲット表面からプラズマを発生させる。図13(b)は、円環状の後続光パルスが到達した時の状態を概念的に示すもので、先行光パルスにより光軸周辺に生成された内部が高温になったプラズマが存在し、その周囲を囲むように後続光パルスが照射している。後続光パルスの空間強度分布は、集光位置において、中心部が弱く周辺部が強いリング形をしている。

【0065】図13(c)は、超短光パルスが消滅した後の状態を概念的に示す図面である。先行光パルスが生成したプラズマが適当に広がったところに後続光パルスを照射してプラズマを生成させると、後続光パルスは先行光パルスより効率的にプラズマを生成するので、パルスの強度分布と到達時間差を適当に選べば、それぞれのプラズマが発展し互いに混じり合って、より広い領域にわたり、より一様な温度領域を作り出すことができる。したがって、プラズマ温度を目的のX線の発生条件に合わせることで、特性が安定したより大量のX線を発生させることができる。こうして得られる超短光パルスレーザー光は、X線発生や粒子発生、化学反応など、各種のレーザープロセスに適用することができる。

【0066】

【実施例4】本発明第4の実施例のレーザーパルス制御装置は、第3実施例のレーザーパルス制御装置を複数使用して、パルス列の組合わせを調整するようにした装置である。図14は本実施例の第1の態様を示す構成図、図15は本実施例の第2の態様を示す構成図である。

【0067】図14に示した本実施例第1態様のレーザーパルス制御装置は、図10で説明したような半透明鏡HMを用いたレーザーパルス制御装置を2式用いて4個の超短光パルスが連続したレーザー光を得るようにしたものである。この装置は、パルスレーザー発生装置81から放出されたレーザー光を半透明鏡HMからなる光分割器82で2分し、一方を第1の単位レーザーパルス制御装置83に通して出力を半透明鏡HMからなる光合成器85に射出する。また分割されたレーザー光のもう一方は、第2の単位レーザーパルス制御装置84を通して光合成器85に入射させる。

【0068】単位レーザーパルス制御装置83、84は、図10で説明したように半透明鏡HMで2本のレーザー光に分けてそれぞれの空間強度分布を調整すると共に光路長に長短を付けて到達時間を調整して外部に射出する。単位レーザーパルス制御装置83、84から放射されるレーザー光は、それぞれ2個の超短光パルスを有するので、光路長を適当に調整すれば光合成器85で合成したレーザー光は4個の超短光パルスが時間軸に沿って並んだものとなり、それぞれの超短光パルスの空間強度分布と到達時間間隔は任意に調整することができる。

【0069】なお、それぞれのレーザー光が光合成器85

を透過する成分と反射する成分を持つため、本態様のレーザーパルス制御装置からは互いに直交する2本のレーザー光が放出される。2本のレーザー光はそれぞれ異なる対象に照射して利用してもよいし、反射鏡を用いて1個の対象に照射するようにしてもよい。

【0070】図15に示した本実施例第2態様のレーザーパルス制御装置は、半透明鏡HMを用いた単位レーザーパルス制御装置に代えて、図9で説明したような偏光ビームスプリッタPBSを用いたレーザーパルス制御装置を使用したものである。この装置は、パルスレーザー発生装置81から放出されたレーザー光を光分割器82で2分し、一方を第1の単位レーザーパルス制御装置86に通し他方を第2の単位レーザーパルス制御装置87を通して、それぞれの出力レーザー光を光合成器85に入射させて合成し、2本の超短光レーザーパルスとして出力する。

【0071】単位レーザーパルス制御装置86、87は、図10で説明したように偏光ビームスプリッタPBSで偏光成分を分けることにより2本のレーザー光を生成させてそれぞれの空間強度分布を調整すると共に光路長に長短を付けて到達時間を調整して外部に射出する。単位レーザーパルス制御装置86、87から放射されるレーザー光は、P偏光を有する超短光パルスレーザーP1、P2とS偏光を有する超短光パルスレーザーS1、S2が適当な時間間隔を空けて連なったものとなる。したがって、本態様のレーザーパルス制御装置からは、それぞれ一方の偏光を有する4個の超短光パルスが適当な間隔を持って任意の順序に並んだ同じレーザー光が2本、互いに直交する方向に放出されることになる。

【0072】

【発明の効果】本発明のレーザーパルス制御方法および装置を用いることにより、超短光パルスレーザーの空間強度分布、時間波形あるいは偏光状態を調整することができるので、操作要素を豊富化してレーザー反応プロセスをより高度に制御することを可能にするので、各種産業における超短光パルスレーザーの応用を促進する。また、本発明のX線発生装置またはX線発生方法を用いれば、レーザーによりプラズマを発生してX線を放出させる場合に、X線の強度調整をすることができ、特に特定波長のX線の強度を選択的に調整することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る第1実施例におけるX線発生装置の構成図である。

【図2】第1実施例に用いる波面計測法の例を示す概念図である。

【図3】第1実施例の装置における制御の流れを示したフロー図である。

【図4】第1実施例におけるレーザービームの集光強度分布とターゲットの温度分布の関係を示すグラフである。

【図5】第1実施例における別のレーザービーム集光強度分布とターゲットの温度分布の関係を示すグラフであ

る。

【図6】本発明に係る第2実施例におけるX線発生装置の構成を示すブロック図である。

【図7】本発明の第3実施例に係るレーザパルス制御装置を示す構成図である。

【図8】第3実施例のレーザパルス制御装置を用いたレーザ発生装置の全体の構成を示すブロック図である。

【図9】第3実施例のレーザパルス制御装置の別の態様を示す構成図である。

【図10】第3実施例のレーザパルス制御装置さらに別の態様を示す構成図である。

【図11】第3実施例の装置の出力の利用法の1例を説明するブロック図である。

【図12】第3実施例の装置で得られる出力パルスの形状例を説明する概念図である。

【図13】図12の出力パルスをX線ターゲットに照射した時の作用を説明する図面である。

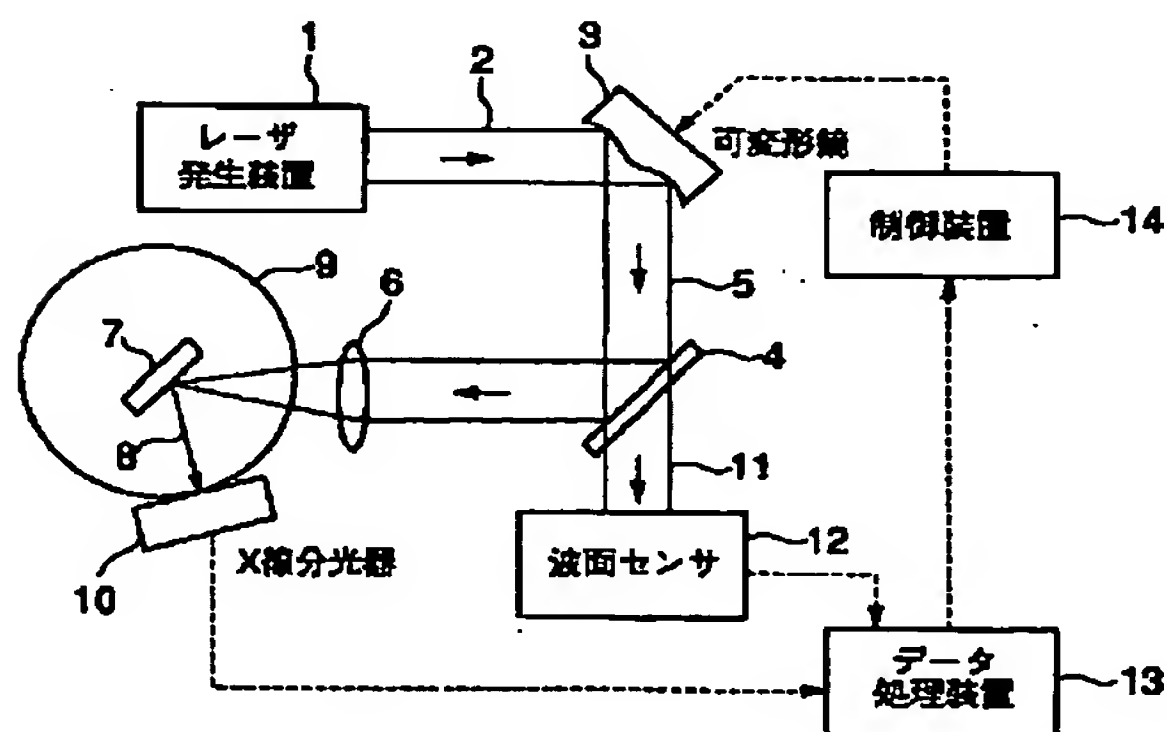
【図14】本発明の第4実施例のレーザパルス制御装置の態様を示す構成図である。

【図15】第4実施例のレーザパルス制御装置の別の態様を示す構成図である。

【符号の説明】

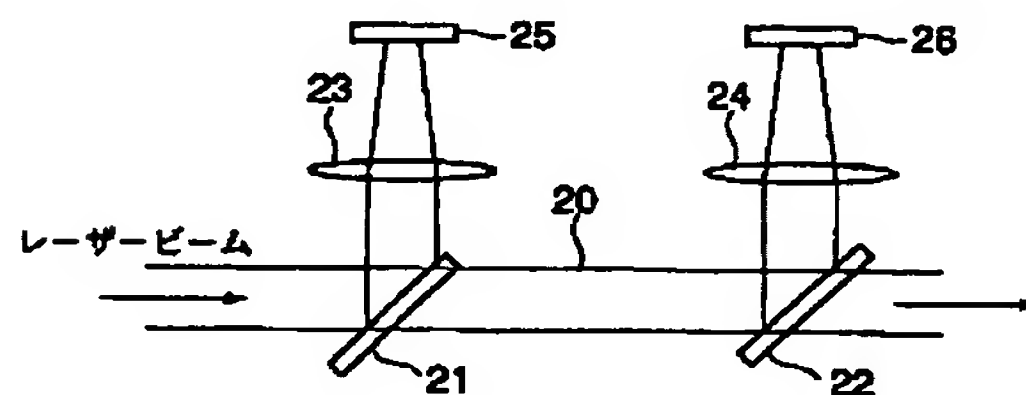
- 1 超短光パルスレーザ発生装置
- 2, 5, 11 レーザビーム
- 3 可変形鏡
- 4 反射鏡
- 6 凸レンズまたは凹面鏡
- 7 ターゲット
- 8 X線
- 9 真空容器

【図1】

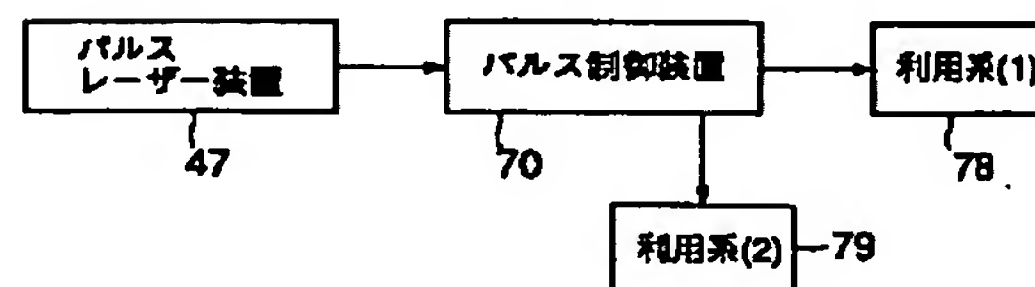


- \* 10 X線分光器
- 12 波面センサ
- 13 データ処理装置
- 14 制御装置
- 20 レーザビーム伝送路
- 21, 22 部分反射鏡
- 23, 24 レンズ系
- 25, 26 イメージセンサ
- 30 透過光学素子
- 40, 60, 70 レーザパルス制御装置
- 41, 61, 71 光分割器
- 42, 43 反射鏡
- 44, 64, 74 光合成器
- 45, 46 光学遅延回路
- 47 パルスレーザ発生装置
- 51 超短光パルスレーザ発振器
- 52 パルスストレッチャー
- 53 パルス増幅器
- 54 パルス圧縮器
- 65 偏光面回転素子
- 77, 78 パルスレーザ利用系
- 81 パルスレーザ発生装置
- 82 光分割器
- 83, 84, 86, 87 単位レーザパルス制御装置
- 85 光合成器
- BS ビームスプリッタ
- ORC 光学遅延回路
- DM 可変形鏡
- HM 半透明鏡 (ハーフミラー)
- \* 30 PBS 偏光ビームスプリッタ

【図2】

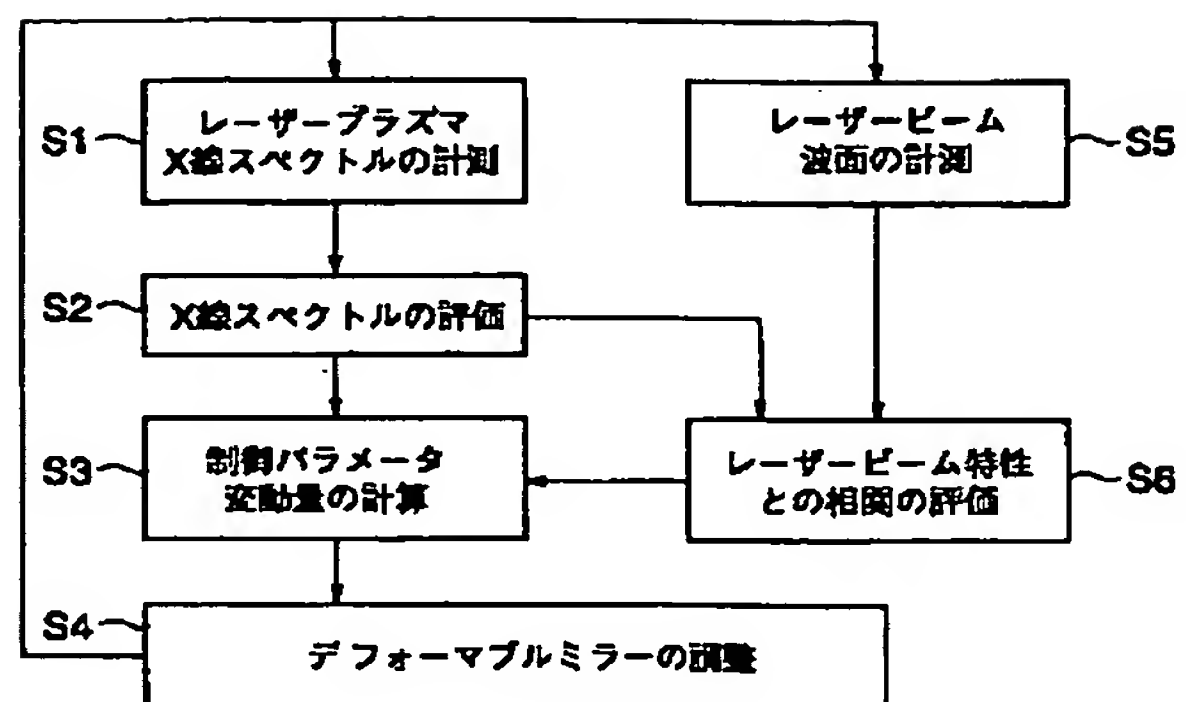


【図11】

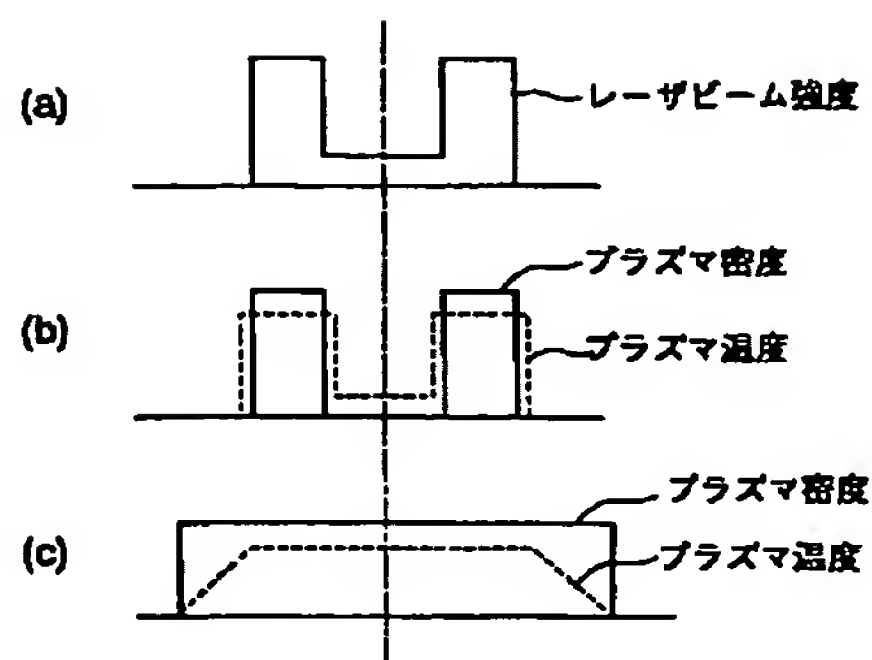




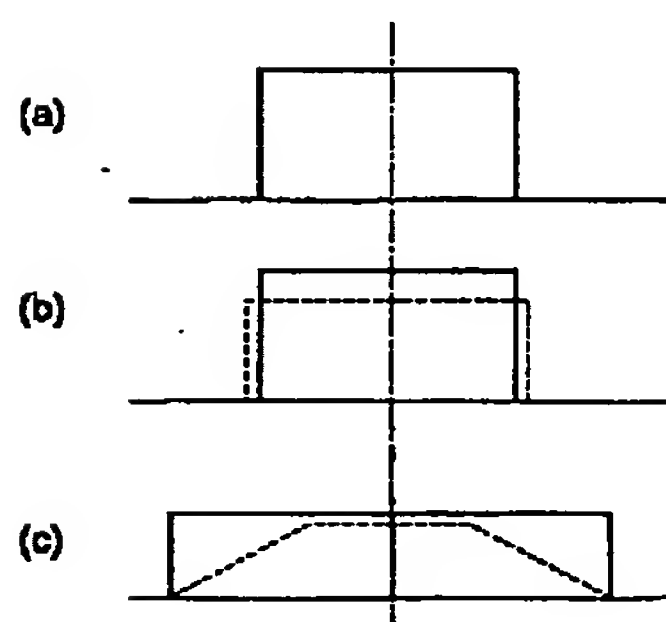
【図3】



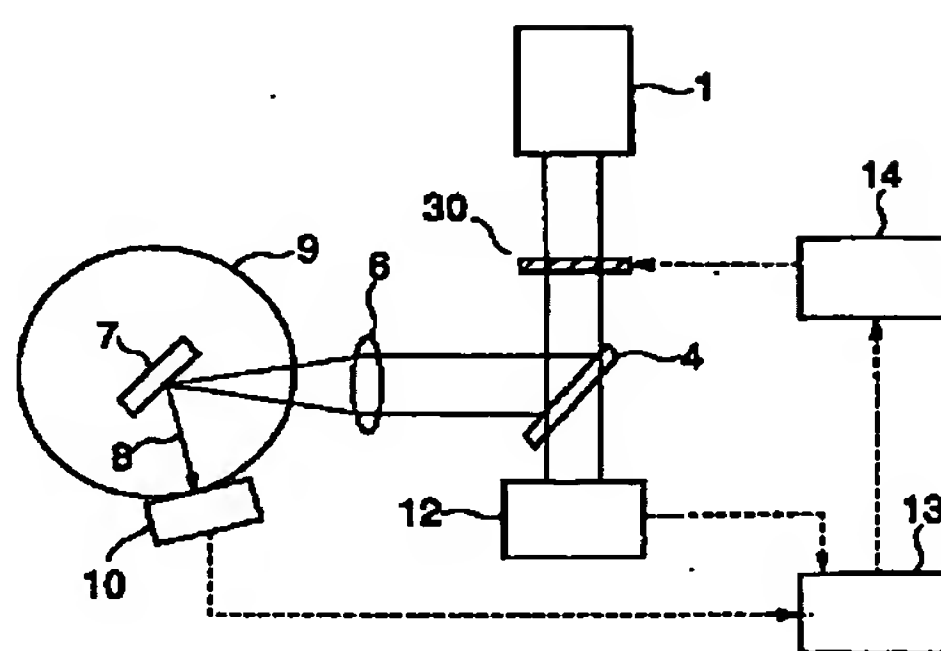
【図4】



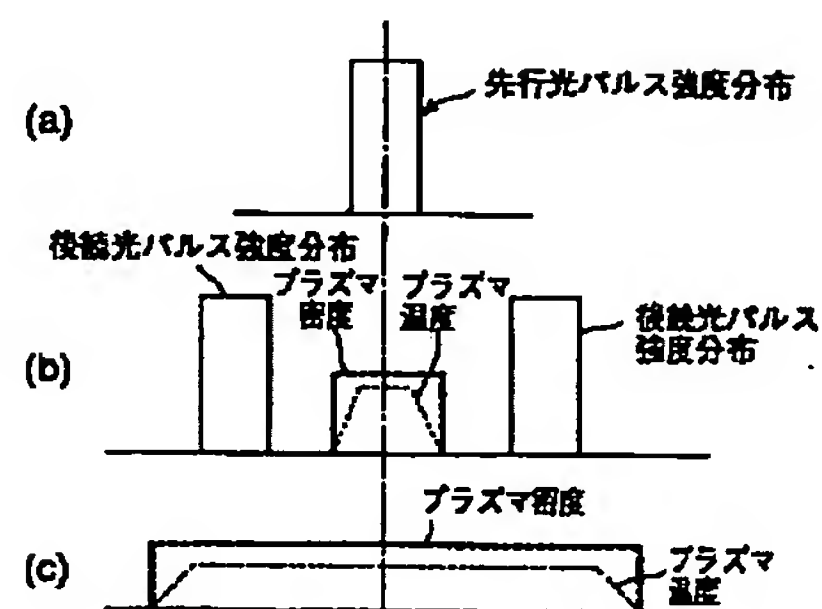
【図5】



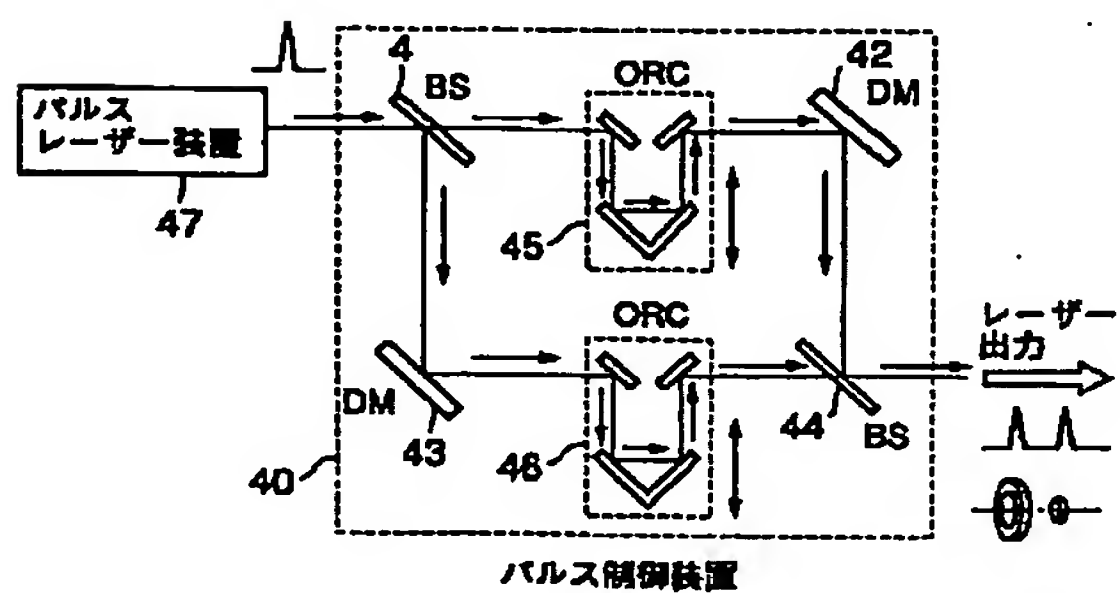
【図6】



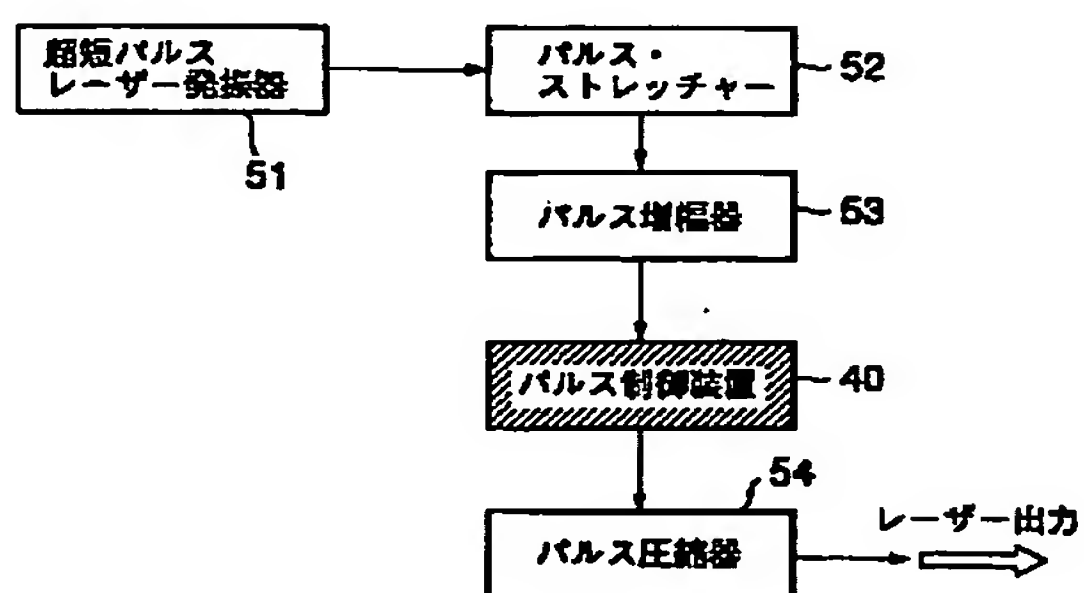
【図13】



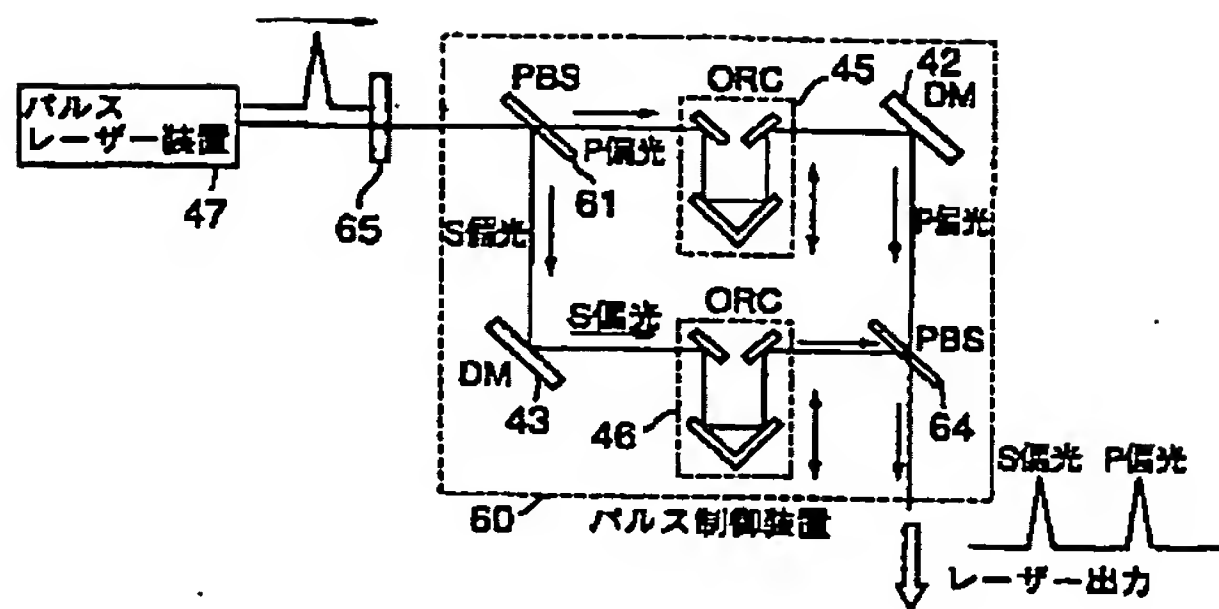
【図7】



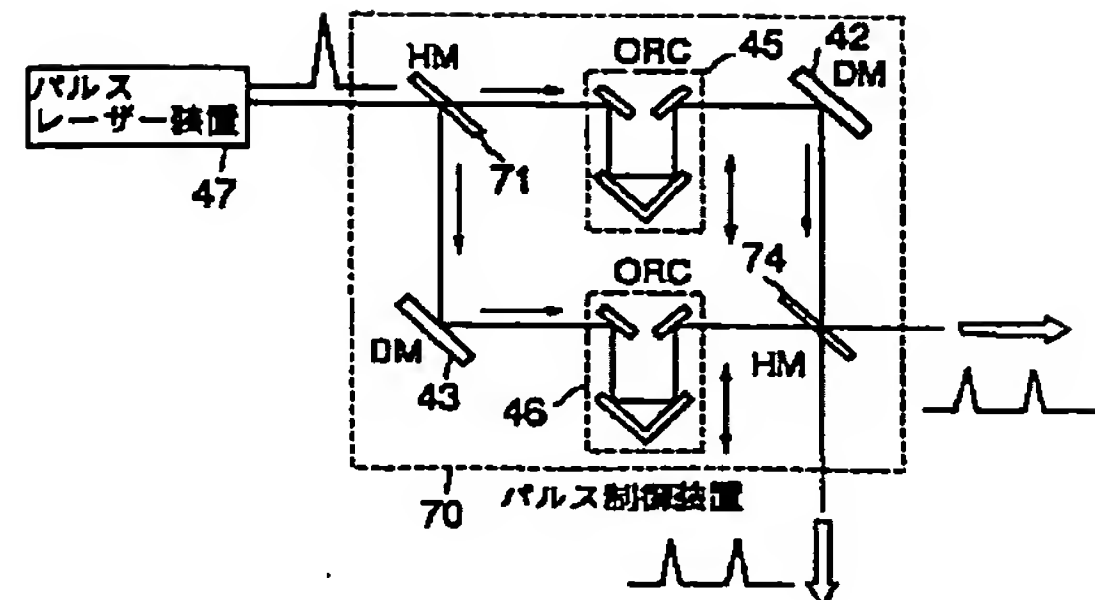
【図8】



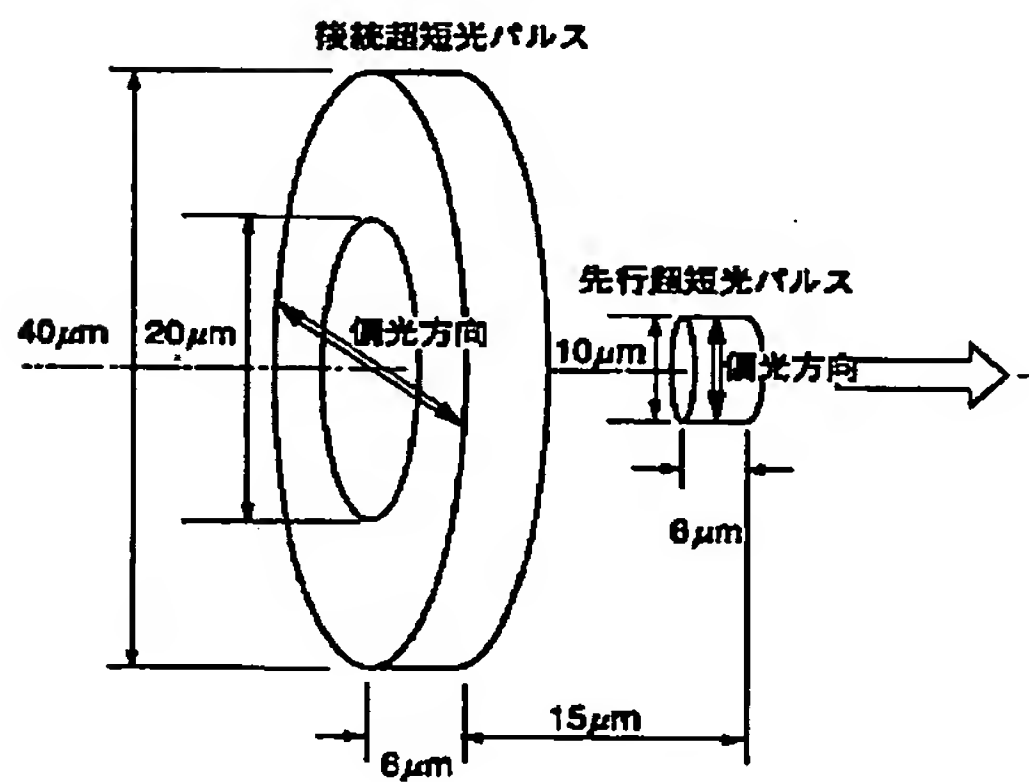
【図9】



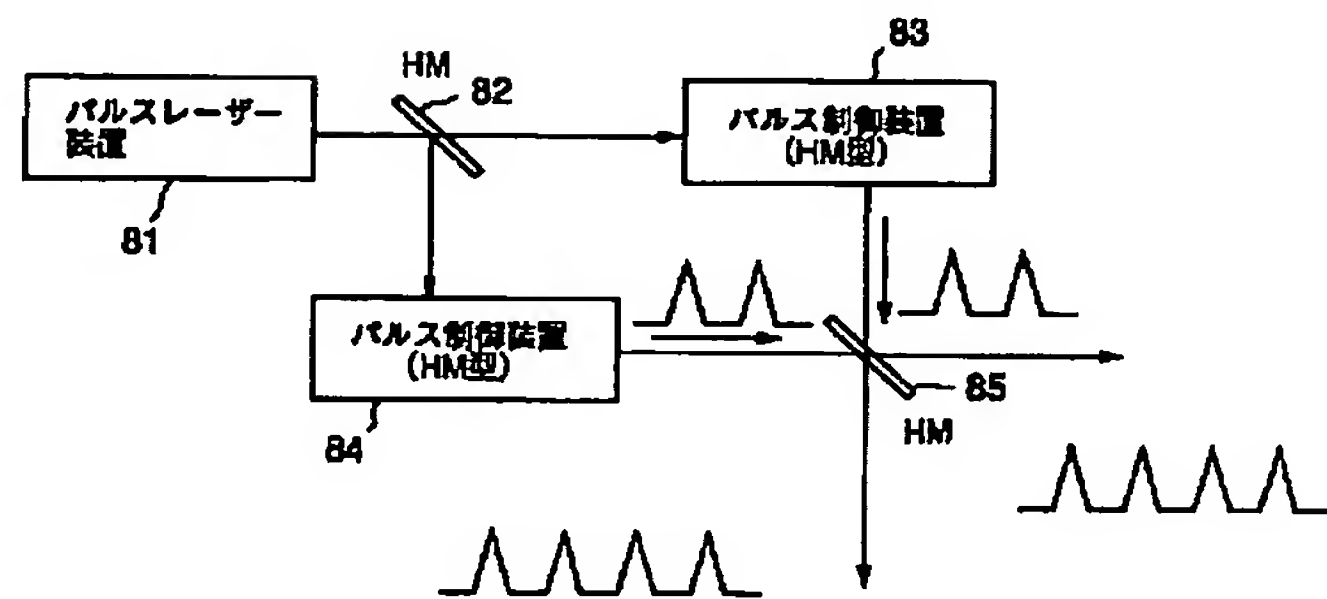
【図10】



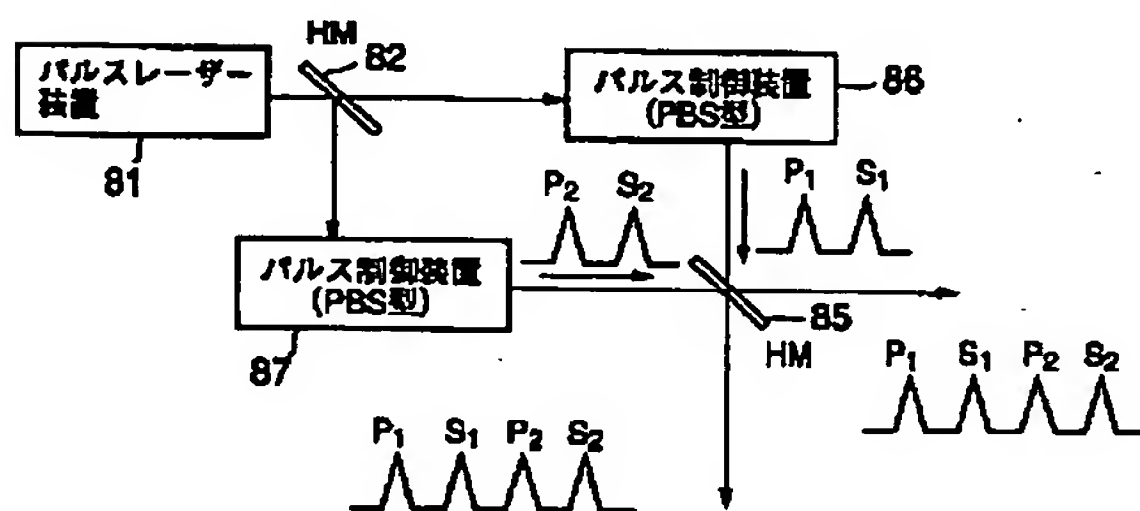
【図12】



【図14】



【図15】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>  
H05H 1/24  
// G02F 1/13  
G21K 5/02  
7/00

識別記号

505

FI

G02F 1/13  
G21K 5/02  
7/00  
H05G 1/00

テマコード(参考)

505 5F072  
X  
K



(72)発明者 藤井 貞夫  
千葉県野田市二ツ塚118番地 川崎重工業  
株式会社野田工場内  
(72)発明者 山川 考一  
京都府相良郡木津町梅美台8丁目1番 日  
本原子力研究所 関西研究所内

F ターム(参考) 2G088 EE30 FF02 FF13 FF15 GG30  
2H041 AA07 AA23 AB14 AB38 AC08  
AC10 AZ06  
2H079 AA02 AA12 CA02  
2H088 EA33 EA45 EA46 HA20  
4C092 AA06 AB02 AC08 CC03 CD10  
CF02 CF42 DD01  
5F072 FF08 HH02 JJ20 MM07 MM08  
MM17 MM18 MM20 RR07 SS04  
SS08 SS10 YY20

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-270551

(43)Date of publication of application : 25.09.2003

(51)Int.Cl. G02B 26/02  
G01T 1/29  
G02F 1/01  
H01S 3/00  
H05G 2/00  
H05H 1/24  
// G02F 1/13  
G21K 5/02  
G21K 7/00

(21)Application number : 2002-073365

(71)Applicant : KAWASAKI HEAVY IND LTD  
JAPAN ATOM ENERGY RES INST

(22)Date of filing : 15.03.2002

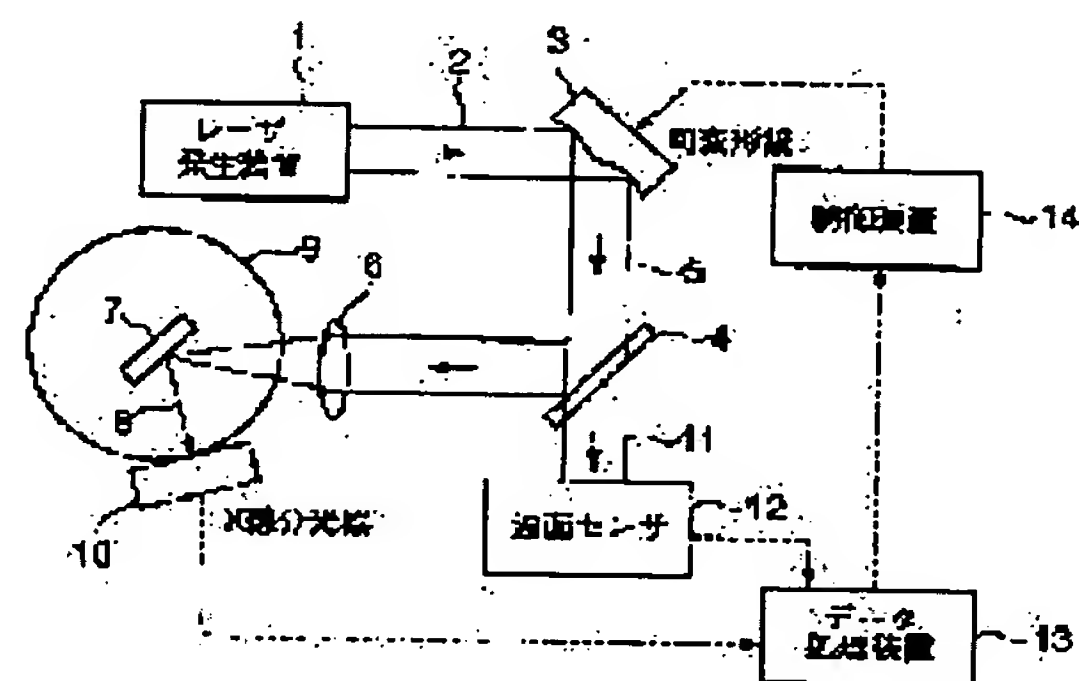
(72)Inventor : MURO MIKIO  
FUJII SADA0  
YAMAKAWA KOICHI

## (54) METHOD AND APPARATUS FOR CONTROLLING LASER PULSE AND METHOD AND APPARATUS FOR GENERATING X-RAY

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an X-ray generator having a mechanism of regulating pulse lasers so as to selectively control the intensity of X-rays, more particularly the intensity of the X-rays of a required specific wavelength with an apparatus for generating the X-rays by irradiating a target with the ultra-short light pulse lasers, etc.

**SOLUTION:** The generation of the X-rays of the specific wavelength is controlled by measuring the intensity characteristics of the X-rays generated by an X-ray spectroscope 10, feeding the result of the measurement back to a wave front phase regulating mechanism 3, regulating the wave front state of the laser beam and generating the space intensity distribution patterns of the laser beam in the position where the laser beam is condensed to the target 7 and control parameters are adjusted in such a manner that the intensity of the X-rays is optimized in accordance with the measurement result of the X-ray intensity characteristics.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 15.03.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]



## \* NOTICES \*

**JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**


---

[Claim(s)]

- [Claim 1] In the laser pulse generating approach of emitting the laser beam which divided the ultrashort light pulse laser beam which carries out incidence, was run the respectively different optical path, compounded again, and was obtained While adjusting a good deformation mirror so that space intensity distribution may become a predetermined pattern for every pulse laser according to the shape of this adjustable mirror surface type in preparation for the inside of the optical path of one side or both The laser pulse-control approach characterized by adjusting the optical path length in said optical path, and giving time difference to a precedence pulse laser and a consecutiveness pulse laser.
- [Claim 2] The laser pulse-control approach according to claim 1 characterized by furthermore performing chirp pulse magnification to said incidence ultrashort light pulse laser beam.
- [Claim 3] It is the laser pulse-control approach according to claim 1 or 2 characterized by performing division and composition of said incidence ultrashort light pulse laser beam by the polarization beam splitter, respectively.
- [Claim 4] The laser pulse-control approach according to claim 3 characterized for controlling the optical reinforcement of said radiation laser beam by adjusting the polarization property of said incidence ultrashort light pulse laser beam by things.
- [Claim 5] The X-ray generating approach characterized by irradiating on the surface of a target and generating an X-ray while adjusting so that the space intensity distribution of this laser beam in the location which condensed further said laser beam obtained by one approach of claims 1-3, and condensed at the target may become a predetermined pattern.
- [Claim 6] The X-ray generating approach characterized by to adjust the wave-front condition of this laser beam so that X-ray intensity may become proper based on the measurement result of said X-ray-intensity property while using the space intensity distribution of this laser beam in the location which measured the strength property of the X-ray to generate in the X-ray generating approach of irradiating a laser beam at a target and generating an X-ray, adjusted the wave-front condition of a laser beam, and condensed at said target as a predetermined pattern.
- [Claim 7] The X-ray generating approach according to claim 5 or 6 characterized by carrying out the monitor of the wave-front condition of the laser beam in transmission optical system furthermore, and enabling it to check the space intensity-distribution adjustment situation of said laser beam.
- [Claim 8] The strength property of said X-ray to measure is the X-ray generating approach given in either of claims 5-7 characterized by amending said wave-front condition based on the measurement value of the X-ray intensity in specific wavelength including a wavelength property.
- [Claim 9] The X-ray generating approach given in either of claims 5-8 characterized by using ultrashort light pulse laser for said laser beam.
- [Claim 10] The X-ray generating approach given in either of claims 5-9 characterized by a periphery being a strong ring form with a weak space intensity-distribution pattern [ of the laser beam in the location which condensed at said target ] core.
- [Claim 11] The X-ray generating approach according to claim 10 characterized by controlling the wave-front condition of a laser beam based on the intensity ratio of the periphery in a ring [ with said weak core ] form with a strong periphery, and a core.
- [Claim 12] In the X-ray generator which irradiates a laser beam at a target and is made to generate an X-ray Arrange the X-ray measuring device which measures the reinforcement of the X-ray to generate, and the wave-front control unit of a laser beam is made to infix into laser beam transmission optical system. Measure the reinforcement of an X-ray with said X-ray measuring device, and said wave-front control

device amends the wave-front condition of a laser beam based on this measurement result. The X-ray generator characterized by adjusting so that the space intensity distribution of the laser beam in the location which condensed at said target may become a predetermined pattern and X-ray intensity may become proper.

[Claim 13] Furthermore, the X-ray generator according to claim 12 characterized by arranging the wave-front measuring device which measures the wave-front condition of a laser beam into laser beam transmission optical system, carrying out the monitor of the wave-front condition of this laser beam, and rationalizing the laser beam wave-front adjustment approach of said wave-front control device.

[Claim 14] The X-ray generator according to claim 12 or 13 characterized by said laser beam being ultrashort light pulse laser.

[Claim 15] Said X-ray measuring device is an X-ray generator given in either of claims 12-14 characterized by being able to measure a wavelength property and adjusting said wave-front control unit based on the laser reinforcement in specific wavelength.

[Claim 16] Said wave-front control device is an X-ray generator given in either of claims 12-15 characterized by having a good deformation mirror, adjusting the irregularity of a reflector locally, and controlling the wave-front condition of a laser beam.

[Claim 17] Said wave-front control device is an X-ray generator given in either of claims 12-15 characterized by controlling the wave-front condition of a laser beam using the transparency mold optical element which can adjust a refractive index locally.

[Claim 18] An X-ray generator given in either of claims 12-17 characterized by a periphery being a strong ring form with a weak space intensity-distribution pattern [ of the laser beam in the location which condensed at said target ] core.

[Claim 19] The X-ray generator according to claim 18 characterized by controlling said wave-front control unit based on the intensity ratio of the periphery in a ring [ with said weak core ] form with a strong periphery, and a core.

[Claim 20] Two reflecting mirrors, one piece, or two optical delay circuits containing an optical divider and one or more good deformation mirrors, And have a photosynthesis machine and ultrashort light pulse laser which carried out incidence is carried out by said optical divider for 2 minutes. It arranges so that the optical path length of each laser pulse divided when reflecting each with said reflecting mirror, compounding again with said photosynthesis vessel and considering as a laser beam may become equal. After adjusting the space intensity distribution in the location which each laser pulse condensed at said target by adjusting the reflector configuration of said good deformation mirror The laser pulse control unit characterized by infixing said optical delay circuit furthermore into the optical path of one side of the divided this laser beam, or both, and making it make the time of day when said each laser pulse reaches said photosynthesis machine produce a difference.

[Claim 21] Furthermore, the laser pulse control unit according to claim 20 characterized by having the chirp pulse amplifying device which has a pulse stretcher, a laser amplifier, and a pulse compression machine into said optical path.

[Claim 22] said pulse stretcher and said laser amplifier -- between an ultrashort light pulse laser generator and said optical dividers -- and the laser pulse control unit according to claim 21 characterized by having said pulse compression machine between said photosynthesis machines and said convergence optical system.

[Claim 23] A laser pulse control unit given in either of claims 20-22 characterized by said optical divider and photosynthesis machine being a polarization beam splitter.

[Claim 24] The laser pulse control unit according to claim 23 characterized by furthermore equipping the upstream of said optical divider with a plane-of-polarization rotation component.

[Claim 25] A laser pulse control unit given in either of claims 20-22 characterized by said optical divider and photosynthesis machine being a half mirror.

[Claim 26] The unit pulse control unit which becomes an optical divider or claims 20-25 from the laser pulse control unit of a publication Two formulas, And have a photosynthesis machine, and carry out ultrashort light pulse laser which carried out incidence by said optical divider for 2 minutes, and incidence of each is carried out to each of the unit pulse control unit of said two formulas. The laser pulse control unit characterized by obtaining the laser beam containing the pulse laser which is two pieces to which the space intensity distribution of a pulse and the time interval of pulses were adjusted, compounding this laser beam again with said photosynthesis vessel, and forming the laser beam containing four pulse lasers.

[Claim 27] The X-ray generator characterized by irradiating the laser beam obtained by carrying out

incidence of the laser pulse which was equipped with an ultrashort light pulse laser generator, a laser pulse control unit given in either of claims 20-26, and convergence optical system, and was generated with this ultrashort light pulse laser generator in the X-ray generator which irradiates a laser beam at a target and is made to generate an X-ray to said laser pulse control unit by said convergence optical system at said target.

[Claim 28] Two laser beams which are emitted from said laser pulse control unit in the X-ray generator according to claim 27 using a laser pulse control unit according to claim 25 or 26 and which intersected perpendicularly are X-ray generators characterized by making it condense at a target, respectively.

[Claim 29] Said two laser beams are X-ray generators according to claim 28 characterized by making it condense at the same target.

[Claim 30] Arrange the X-ray measuring device which measures the reinforcement of the X-ray furthermore generated, and it is based on the value of X dosage generated from a target. The intensity ratio of the energy density peak in the precedence pulse which reaches the point in the laser beam which reaches said target, and the consecutiveness pulse which arrives at behind, An X-ray generator given in a beam diameter or claims 27-29 which are characterized by controlling an X-ray yield by adjusting the configuration of said good deformation mirror, and the delay distance of an optical delay circuit by making time difference into a parameter.

[Claim 31] It is the X-ray generator according to claim 30 which said precedence pulse has the configuration thinly extracted as the space intensity-distribution pattern in the location which the target condensed has a peak in a core, and is characterized by said consecutiveness pulse having the space intensity distribution of the ring form where a periphery is strong where a core is weak.

---

[Translation done.]



**\* NOTICES \***

**JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**DETAILED DESCRIPTION**

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the X-ray generating approach and equipment which are made to generate the X-ray of specific wavelength especially using high power ultrashort light pulse laser about the X-ray generating approach and equipment which irradiate a laser beam at a target and are made to generate an X-ray.

[0002]

[Description of the Prior Art] If a high intensity laser beam is irradiated in a surface of metal, the X-ray of high brightness will occur from the plasma formed in a surface of metal. The X-ray of the very high brightness in comparatively low energy is obtained by using especially an ultrashort light pulse laser beam. An X-ray output is influenced by very many parameters, such as the quality of the material of a target, a configuration, wavelength of a laser beam, space intensity distribution, and a time amount wave, in the X-ray generator which irradiates ultrashort light pulse laser at a target, and obtained the X-ray. Moreover, it turns out that it is influenced also by the condition of the plasma generated on a target front face, or the polarization of a laser beam to irradiate.

[0003] However, since the approach by adjustment of pulse separation etc. was used when using the synthetic reinforcement of a laser beam, i.e., the energy intensity as an integral value covering the whole wavelength, or a pulse laser, the conventional X-ray output control was difficult for controlling an X-ray output to a precision. In addition, in order to raise the light quality of laser, by performing the wave-front compensatory control of a laser output beam using a good deformation mirror etc., the flat wave front was formed and the concept of a control system that a diffraction marginal beam was made to generate existed also in the former. Moreover, although the focus of the condensing system of a laser beam is shifted and he is trying to adjust the energy intensity of a laser pulse X-ray conventionally, since the space intensity distribution of the laser itself were not able to be changed, optimal adjustment was not able to be carried out.

[0004] For example, the pulse X-ray irradiation equipment which adjusted the reinforcement of the last pulse laser shot to JP,9-184900,A so that the reinforcement of the generated X-ray might be measured and X-ray light exposure might be in agreement with the set point is indicated. Beam adjustment on the strength is performed by using the transmission adjustable filter prepared into the optical path, and the time difference of the actuation start signal of a Q switch, and the excitation start signal of a laser medium in Q switched laser equipment etc. Although the output of a pulse X line source swings for every shot, the amount of setting X-ray irradiation and the amount of addition X-ray irradiation can be made in agreement according to this equipment.

[0005] Moreover, after a half mirror's dividing short pulse laser light into JP,8-213192,A and giving an optical-path-length difference to it in an optical delay circuit, the X-ray generator precedes with the main pulse laser light which has high peak power, and it was made to irradiate a small subpulse laser light of peak power is indicated by irradiating the same target front face. This equipment can generate the reserve plasma by subpulse laser light, can heat this reserve plasma with the main pulse laser light, and can modulate X dosage generated by controlling the time interval of both pulse laser light.

[0006] However, when using an operation of an X-ray, the energy on the whole is not only made an issue of, but the absorption reaction of a chemical or a biological substance, manufacture of the integrated circuit which used the single wavelength X-ray, etc. serve as an interest with the serious X-ray operation in specific wavelength in many cases. However, the easy approach of controlling the reinforcement of the specific spectral line is not developed yet. In addition, although the method of controlling the time interval of the

main pulse laser light and subpulse laser light, and adjusting X dosage is learned, the pulse laser from which reinforcement only differs must be used almost simultaneously, and the property of the X-ray which adjusts the space intensity distribution of a laser beam, a time amount wave, and a polarization condition, and is generated is not controlled to a precision.

[0007]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] The technical problem which this invention tends to solve Then, the space intensity distribution of ultrashort light pulse laser, It is offering the laser pulse-control approach of having adjusted the time amount wave or the polarization condition, and equipment. Moreover, it is the approach and equipment which irradiate the laser beam of high intensity, such as ultrashort light pulse laser, at a target, and are made to generate an X-ray. It is offering the X-ray generating approach equipped with the device a pulse laser's being adjusted so that the reinforcement of an X-ray, especially the X-ray intensity of the specific wavelength to need may be controlled alternatively, and equipment.

[0008]

[Means for Solving the Problem] In order to solve the above-mentioned technical problem, the laser pulse-control approach of this invention In the laser pulse generating approach of emitting the laser beam which divided the ultrashort light pulse laser beam which carries out incidence, was run the respectively different optical path, compounded again, and was obtained While adjusting a good deformation mirror so that space intensity distribution may become a predetermined pattern for every pulse laser according to the shape of this adjustable mirror surface type in preparation for the inside of the optical path of one side or both, it is characterized by adjusting the optical path length in an optical path, and giving time difference to a precedence pulse laser and a consecutiveness pulse laser. Furthermore, it can consider as the pulse laser light which was equipped with the chirp pulse amplifier which has a pulse stretcher, a laser amplifier, and a pulse compression machine, and made peak value still higher. Moreover, it can consider as the ultrashort light pulse laser beam which specified the polarization condition by using a polarization beam splitter. In addition, a difference can be given to the reinforcement of the laser beam divided by adjusting the polarization property of an incidence laser beam when using a polarization beam splitter.

[0009] According to the laser pulse-control approach of this invention, it can be made to generate as a pulse connected in the short time interval of a picosecond ps level from the femtosecond fs which carried out conversion of the ultrashort light pulse laser, and was set as arbitration. Furthermore, the space intensity distribution of each pulse can be adjusted separately. Moreover, it is also possible to specify the polarization condition of a pulse laser. A high intensity laser pulse can be irradiated at the matter, and processes, such as a nuclear reaction, a plasma reaction, a chemical reaction, and isotope separation, can be made to occur. According to such a process, electromagnetic waves, such as particle generation of composition of a chemical or an element, decomposition, separation, etc. an atom, a molecule, ion, an electron, positive electron, a neutron, a cluster, etc., etc., and an X-ray, a gamma ray, can be generated. As for the above-mentioned technique, the application to industrial fields, such as a semi-conductor, chemistry, energy, medicine, and a machine, fundamental researches, such as a particle accelerator, etc. is expected.

[0010] Since according to the laser pulse-control approach of this invention it can adjust to arbitration to a polarization condition and the property of the X-ray to generate can be controlled to a precision if there are space intensity distribution of an ultrashort light pulse laser beam, a time amount wave, and need, it becomes possible to control the above-mentioned process suitably. Furthermore, the optical intensity ratio of P polarization and S polarization can be adjusted, and each can be made to act effectively. Moreover, since the space intensity distribution and irradiation time spacing of a laser beam in a target location can be suitably adjusted by irradiating at a target the ultrashort light pulse laser beam generated by the laser pulse-control approach of this invention, and generating an X-ray, the design of the above-mentioned process can be performed covering a detailed point.

[0011] Moreover, the X-ray generating approach of this invention apply to the X-ray generator which irradiate a laser beam at a target and be make to generate an X-ray in order to solve the above-mentioned technical problem measure the strength property of the X-ray to generate, and it be characterize by to adjust the wave-front condition of a laser beam so that X-ray intensity may become proper based on the measurement result of an X-ray-intensity property while it use as a predetermined pattern the space intensity distribution of the laser beam in the location which condensed at the target. Since generating of an X-ray is controlled by measuring the property of the generated X-ray and feeding back the measurement result to the space intensity-distribution pattern of a laser beam according to the X-ray generating approach of this invention, an X-ray with which the target property takes the optimal value can be generated efficiently.

[0012] In addition, while carrying out the monitor of the wave-front condition of the laser beam in



transmission optical system and checking the space intensity-distribution adjustment situation of a laser beam, it is desirable to adjust the parameter related to space intensity distribution suitably, and to rationalize an X-ray. Although there is no method of getting to know the space intensity distribution of the laser beam in a target location directly Branch a part of transmission beam by the beam splitter, and presume the space intensity distribution in a target location from the condensing pattern (far field pattern), or It is because an adjustment result can be presumed from the wave-front condition of a laser beam, and is because a result can be exactly grasped when the parameter which influences a space intensity-distribution pattern by getting to know the wave-front condition of a laser beam directly is adjusted.

[0013] Moreover, a wavelength property is measured as a strength property of an X-ray, and you may enable it to adjust the wave-front condition of a laser beam based on the measurement value of the X-ray intensity in the specific wavelength made into the purpose. As for the X-ray to generate, it is desirable that many proper wavelength components decided by the purpose are made to be contained. If the wavelength property of an X-ray is measured, the X-ray intensity of the purpose wavelength is measured, and space intensity distribution can be adjusted so that this reinforcement may become large. In addition, the approach of this invention can be applied also when pulse width generates an X-ray using ultrashort light pulse laser only with a femtosecond from a picosecond. Since the energy of very high reinforcement can be given although it is a short time if ultrashort light pulse laser is used, the target matter is plasma-ized efficiently and the efficient outbreak of an X-ray is possible.

[0014] Here, as for the space intensity-distribution pattern of the laser beam in the location which condensed at the target, it is desirable to form in a ring [ with a weak core ] form with a strong periphery. Since the temperature distribution in a target location become trapezoidal shape and the area of an elevated-temperature part spreads by taking the intensity distribution of the shape of such a caldera, the property of the X-ray to generate is stabilized and a good X-ray can be obtained. Moreover, based on the intensity ratio of the periphery of a ring form, and a core in a space intensity-distribution pattern, the wave-front condition of a laser beam is controllable. Wave-front control units, such as a good deformation mirror and a liquid crystal device, can adjust the space intensity-distribution pattern of the laser in a target location, and the intensity ratio of a periphery and a core can adjust the temperature of the plasma in the laser radiation location of a target. Since the above-mentioned plasma temperature affects greatly the reinforcement for every wavelength of the X-ray to generate, it can control the X-ray intensity in predetermined wavelength automatically by measuring the wavelength property of an X-ray and feeding back to a wave-front control device.

[0015] In order to solve the above-mentioned technical problem, moreover, the X-ray generator of this invention Arrange the X-ray measuring device which measures the reinforcement of the X-ray to generate, and the wave-front control unit of a laser beam is made to infix into laser beam transmission optical system. It is characterized by measuring the reinforcement of an X-ray with an X-ray measuring device, and for a wave-front control device adjusting the wave-front condition of a laser beam based on the measurement result, and using as a predetermined pattern the space intensity distribution of the laser beam in the location which condensed at the target, and making X-ray intensity proper. Since the X-ray generator of this invention adjusts the wave-front condition of a laser beam so that the space intensity distribution in the target location for which it presumes and asks may become a predetermined pattern based on the result of having measured the property of an X-ray, it is controllable in the optimal condition that description of the X-ray to generate is desired.

[0016] Furthermore, in the X-ray generator of this invention, it is desirable to arrange the wave-front measuring device which measures the wave-front condition of a laser beam into laser beam transmission optical system, to carry out the monitor of the wave-front condition of a laser beam, and to rationalize the laser beam wave-front adjustment approach of a wave-front control device. In addition, the laser beam to be used may be ultrashort light pulse laser. Furthermore, as for an X-ray measuring device, it is desirable to constitute so that a wave-front control unit may be adjusted based on the laser reinforcement in the specific wavelength which measures a wavelength property and was extracted from the measurement result. By measuring the wavelength property of an X-ray, the X-ray of the specific wavelength required of an X-ray generator is alternatively controllable.

[0017] In addition, a wave-front control device is equipped with a good deformation mirror, adjusts the irregularity of a reflector locally, and can control the wave-front condition of a laser beam. Moreover, the transparency mold optical element which can adjust a refractive index locally may be used for a wave-front control unit. In addition, it is desirable to form in a ring [ with a weak core ] form with a strong periphery the space intensity-distribution pattern of the laser beam in the location which condensed at the target.



Furthermore, a wave-front control unit can be controlled based on the intensity ratio of the periphery in the space intensity-distribution pattern of this ring form, and a core.

[0018] Furthermore, in order that the laser pulse control unit of this invention may solve the above-mentioned technical problem, It has two reflecting mirrors, one piece or two optical delay circuits, and photosynthesis machine containing an optical divider and one or more good deformation mirrors. It arranges so that the optical path length of each laser pulse which divided the laser pulse which carried out incidence of an optical divider, a reflecting mirror, and the photosynthesis machine by the optical divider, and was divided when reflecting with a reflecting mirror, respectively, compounding with a photosynthesis vessel and considering as a laser beam may become equal. The same optical system as the so-called Mach-Zehnder interferometer is formed, and the space intensity distribution of each laser pulse are adjusted by adjusting the reflector configuration of the good deformation mirror further used as a reflecting mirror. After making it the space intensity distribution in the location which the laser beam condensed at the target become a predetermined pattern It is characterized by enabling it to make the time of day when each laser pulse reaches a photosynthesis machine by the optical delay circuit infixed into the optical path of one side of the laser beam furthermore divided, or both produce a difference.

[0019] the laser pulse control unit of this invention dividing the laser pulse of the short ultrashort light pulse laser of oscillation time amount into two laser pulses, and adjusting a time delay about each laser pulse -- two laser pulses -- \*\*\*\* -- the laser beam located in a line with the short time interval can be created. And a good deformation mirror can adjust the space intensity distribution of two pulses independently, respectively. Therefore, it can offer the new ultrashort light pulse laser controlling method the space intensity distribution of two or more pulses which reach continuously at intervals of the super-short time of ps from fs are changeable into arbitration, respectively, and adjustment of a laser beam not only spreads, but can control now the laser reaction process of conventionally impossible various classes.

[0020] In addition, an optical divider and a photosynthesis machine are constituted from a polarization beam splitter, and if a beam is divided and compounded using polarization of a laser beam, polarization of the laser which irradiates a target with time difference can be specified as one condition. Since the reaction to a laser beam may be governed by the polarization condition, the new means of reaction process control, such as adjusting the yield and wavelength of an X-ray, will be offered by choosing a polarization condition. Furthermore, since the intensity ratio of two laser beams distributed by the optical divider by letting an incidence laser beam pass for a plane-of-polarization rotation component can be adjusted, the intensity ratio of two pulses which irradiate a target with time difference is controllable. Moreover, the laser beam to which four ultrashort light pulses which have \*\*\*\* for 2 types and the space intensity distribution of arbitration were located in a line with juxtaposition in the above-mentioned laser pulse control unit can be obtained.

[0021] Moreover, in order that the X-ray generator of this invention may solve the above-mentioned technical problem, it is equipped with an ultrashort light pulse laser generator, the laser pulse control unit concerning this invention, and convergence optical system, and is characterized by generating an X-ray by irradiating at a target the laser beam obtained by carrying out incidence of the ultrashort light pulse laser injected from an ultrashort light pulse laser generator to a laser pulse control unit by convergence optical system.

[0022] the ultrashort light pulse laser with which the X-ray generator of this invention set up space intensity distribution mutually-independent -- two pieces or four pieces, and \*\*\*\* -- since incidence is carried out to an X-ray target with a short time interval, the X-ray of conventionally impossible various classes can be generated. Moreover, since the reaction to a laser beam may be governed by the polarization condition, the property and yield of an X-ray can be adjusted by choosing the polarization condition for every laser pulse which irradiates a target.

[0023]

[Embodiment of the Invention] This invention is explained to a detail using an example below.

[0024]

[Example 1] By condensing the laser beam generated with a pulse laser generator on the surface of a target, generating the plasma, generating an X-ray from there, arranging a wave-front phase adjuster style and adjusting wave-front phase distribution of a laser beam suitably into the optical path of a laser beam, the X-ray generator of this example controls the space intensity distribution of the laser beam which condensed on the target front face, and obtains the target X-ray. The conceptual diagram showing the example of the wave-front mensuration which uses drawing 1 for the block diagram of the X-ray generator of this example, and uses drawing 2 for this example, the flow Fig. having shown a control flow [ in / in drawing 3 / the

equipment of this example ], drawing 4 , and drawing 5 are graphs which show the relation between the condensing intensity distribution of a laser beam, and the temperature distribution of a target.

[0025] The X-ray generator of this example is what used the good deformation mirror as a wave-front phase adjustment device, and as shown in drawing 1 , it is equipped with the ultrashort light pulse laser generator 1, the good deformation mirror 3, a reflecting mirror 4, a lens 6, the target 7 set in the vacuum housing 9, X-ray spectrometer 10, the wave-front sensor 12, a data processor 13, and a control unit 14. After carrying out wave-front phase distribution adjustment of the laser beam 2 generated with the ultrashort light pulse laser generator 1 in the good deformation mirror 3, the target 7 which supplied to the lens 6 with the reflecting mirror 4, and was set in the vacuum housing 9 is made to condense, and X-ray 8 is generated from the generated plasma. It is prepared in the vacuum housing 9 so that X-ray spectrometer 10 may not become an obstacle to X-ray use, and X-ray intensity wavelength distribution of generated X-ray 8 is measured.

[0026] Since the good deformation mirror 3 used for this example is used in order to amend distortion of a laser wave front and to make a wave front into a flat surface, it can use what is called the defoamer bull mirror DM constituted so that the irregularity of a reflector could be adjusted locally. For example, there are some which were able to be located in a line with the flesh side of the reflecting mirror plate which gave reflective coating to the front face of a thin quartz plate in the shape of an array in the laminating piezo-electric element. This good deformation mirror can adjust the electrical potential difference applied to each piezo-electric element, and can be made to transform a mirror plane into arbitration using an electrostrictive effect. In addition, even if it uses the good deformation mirror of formats other than this, it cannot be overemphasized that it will not deviate from the meaning of this invention.

[0027] Moreover, a reflecting mirror 4 has the property which penetrates a part of laser beam, and carries out incidence of the transmitted laser 11 to the wave-front sensor 12. The location of the image of the effective area formed behind a collimation lens can be made to be able to place and carry out image formation of the lens array which consists of many small lenses to the wave-front sensor 12, and the Shack-Hartmann mold wave-front sensor which asks for the inclination of the wave front in each location from a gap of the location of a spot image can be used for it. Of course, the wave-front sensor of other formats can also be used.

[0028] In this example, it asks for a wave front by the wave-front sensor as shown in drawing 2 . This wave-front sensor equips with the partial reflection mirrors 21 and 22 two points left in the laser beam transmission line 20, carries out incidence of the reflected light to image sensors 25 and 26 through lens systems 23 and 24, and measures the space intensity distribution of a field perpendicular to a laser beam shaft to coincidence. Based on the intensity distribution within the flux of light measured with the image sensors 25 formed in the upstream, the initial phase of a laser beam is assumed among a laser beam transmission line, and the intensity distribution in the image sensors 26 of the downstream are calculated from the calculated value of the beam propagation by the diffraction theory of light. Wave-front distribution of a laser beam can be searched for by amending an initial phase so that this calculated value may be compared with the actual measurement of the intensity distribution acquired with the downstream image sensors 26 and a difference may be lost.

[0029] The X-ray generator of this example controls X-ray generating by the procedure as roughly shown in drawing 3 . X-ray intensity wavelength distribution of X-ray 8 which X-ray spectrometer 10 generated is measured, and a measurement result is transmitted to a data processor 13 (S1). A data processor 13 evaluates the X-ray spectrum corresponding to the purposes, such as reinforcement in predetermined wavelength, based on the measurement result of X-ray intensity distribution (S2). Furthermore, the amount which a control parameter should fluctuate based on an evaluation result is calculated. Supply an indication signal to a control device 14 (S3), and a control device 14 operates the actuator of the correspondence location of the good deformation mirror (defoamer bull mirror) 3, and controls a reflector configuration. The space intensity distribution in target 7 front face which (S4) and a laser beam condense are adjusted, and it is made for the intensity distribution of the X-ray emitted from the plasma generated on the front face of a target 7 to become a desirable pattern by adjusting the wave-front condition of a laser beam.

[0030] Moreover, the wave-front sensor 12 measures the result of having adjusted the wave-front condition of a laser beam in the good deformation mirror 3, and the wave-front distribution measurement result of a laser beam is given to a data processor 13 (S5). Although it is desirable to measure directly the space intensity distribution of the laser beam in a condensing location, since it is in the high energy condition, there is no suitable measuring method in a condensing location. Then, when energy density measures a wave-front condition in a low location, the intensity distribution in a condensing location are presumed. By comparing the measurement result of an X-ray spectrum, and the wave-front measurement result of a laser



beam, a data processor 13 generates the indication signal over the control unit 14 in the above-mentioned procedure S3 using the result of having analyzed the optimum state of the space intensity-distribution pattern of the laser beam in the so-called near-field, in order to acquire a required X-ray property (S6). [0031] The laser plasma X-ray generator of this example can be adjusted so that the X-ray intensity in a certain specific wavelength required in order for the good deformation mirror 3 to adjust the wave-front phase distribution in the near-field of a laser beam and to optimize the space intensity distribution in a condensing location (for example, in order to use an X-ray) may become max. Drawing 4 and drawing 5 illustrate the space intensity-distribution pattern of a laser beam and the relation of an operation to a condensing location. (a) shows the laser beam space intensity distribution in a condensing location, and both drawings show plasma temperature distribution with the density distribution of the plasma generated on a target front face as a continuous line, and a broken line, and show temperature distribution by (c) at (b) with the plasma density distribution after the time amount after laser pulse irradiation passes as a continuous line, and a broken line.

[0032] Drawing 4 is the case where the space intensity distribution of the laser beam in a condensing location are used as a ring type. The optical reinforcement of the laser beam 2 which carries out incidence to the good deformation mirror 3 is usually carrying out Gaussian distribution in the direction perpendicular to an optical axis. However, it can be made a ring type with the high intensity distribution [ when condensing at a target 7 with a lens 6 ] periphery section, and a low core by adjusting concavo-convex distribution of the front face of the good deformation mirror 3 ( drawing 4 (a)). If the intensity-distribution pattern of a ring type is formed in the front face of a target 7, since the plasma will occur only in the periphery section which shows the reinforcement beyond the threshold decided by the target quality of the material, a configuration, a laser property, etc. and the plasma will not occur in a center section, ring-like distribution [ plasma ] will generate. At this time, the temperature in the plasma generating section presents distribution of a well mold which has the center section where a little plasma part has the elevated-temperature section which began to leak outside, and temperature became high a little in response to laser energy ( drawing 4 (b)).

[0033] Furthermore, although the plasma will be equalized and breadth and temperature distribution will also spread on the outskirts corresponding to the breadth of the plasma if the exposure of a laser beam is ended and time amount passes, the sufficiently large flat elevated-temperature section can be made to form in the center ( drawing 4 (c)). Since the wavelength spectrum of an X-ray is greatly influenced by plasma temperature, it is effective to have the isothermal section with large temperature distribution, when acquiring an X-ray with an equal property efficiently. Moreover, also when observing the X-ray in predetermined wavelength, the reinforcement can be controlled by adjusting plasma temperature.

[0034] Drawing 5 is a drawing explaining the case where the cylindrical distribution which hits when the reinforcement of a center section becomes the same as the periphery section in ring type distribution is taken. When the laser beam space intensity distribution in a condensing location are cylindrical, (a) and the plasma density distribution at the time of laser radiation become cylinder-like, and plasma temperature also becomes cylinder-like (b). After an exposure, if suitable time amount progress is carried out, the plasma will be expanded to a periphery and plasma temperature will become the truncated-cone form where a center section is high (c). A temperature level becomes high instead of [ with the maximum-temperature field narrower than the case of ring-like distribution at this time ].

[0035] Shape parameters, such as a diameter of inside and outside of a ring, height of the periphery section and a center section, etc. which are a laser beam space intensity-distribution pattern in a condensing location, can adjust a plasma yield and temperature distribution. Even if the energy of a laser beam is the same, if a plasma yield will become large if the field which has the reinforcement beyond a plasma generating threshold in laser beam space intensity distribution is large, the difference of the periphery section and a center section on the strength becomes small and the reinforcement of a center section becomes strong, the peak value of plasma temperature will become high. Moreover, generally, in order to generate the X-ray of short wavelength, the plasma must be an elevated temperature, but since the X-ray of long wavelength can be generated from the low-temperature plasma, the target X-ray can be maximum-ized by adjusting laser beam space intensity distribution.

[0036] Then, control of an X-ray on the strength made into the purpose is performed by measuring the generated X-ray with X-ray spectrometer 10, and making it correspond with the space intensity distribution of a laser beam. In addition, the condition that the good deformation mirror 3 adjusted can be checked by the wave-front sensor 12 as mentioned above. A wave-front distribution measurement result is used in order to analyze the relevance of X-ray intensity and laser wave-front phase distribution, and the optimal laser space intensity-distribution condition is presumed, or it is considered as the assistance for controlling the surface



irregularity part blanket-like voice of the good deformation mirror 3 exactly.

[0037] Moreover, the X-ray intensity in the target wavelength can be detected from the output of X-ray spectrometer 10, and the space intensity distribution in the condensing location of a laser beam can be automatically adjusted so that this may be made into an optimum value. The height deflection of the periphery section of ring-like space intensity distribution and a center section is one of those which show predetermined X-ray intensity and strong correlation. This height deflection can be used for automatic control as a handling function. In addition, since the bore and outer diameter of the periphery section also affect X-ray intensity, when conditions change, these can be adjusted as a parameter.

[0038] Furthermore, it is also possible to enable it to reach the optimum value of space intensity distribution automatically by using the control system which scans the intensity ratio of the periphery section and a core sequentially as a parameter. In addition, even if the quality of the material, configuration, or surface treatment condition of a target is different, the X-ray generator of this example can optimize the space intensity distribution of a laser condensing beam in the same procedure, and can perform adjustment of the target X-ray on the strength. Moreover, although ultrashort light pulse laser was used in this example, when using other laser beams, it cannot be overemphasized that the completely same device is applicable.

[0039]

[Example 2] Drawing 6 is the conceptual diagram showing the configuration of the 2nd example of this invention. Since only the places which used transparency mold wave-front amendment optical system for the wave-front phase adjustment device as compared with the 1st example only differ, this example uses the reference number used for drawing 1 about the component for which a function is common, and simplifies explanation. While penetrating the transmitted light study component 30, the laser beam generated with the ultrashort light pulse laser generator 1 carries out conversion of the intensity distribution of a laser beam, or the phase distribution by a local refractive-index change or permeability change, and it carries out incidence to a reflecting mirror 4, and it irradiates the front face of a target 7 with a lens 6, and generates the plasma.

[0040] According to the control signal supplied from a control unit 14, the refractive index or permeability in liquid crystal is changed using the transmitted light study component 30 formed with liquid crystal, wave-front distribution of transparency laser is adjusted, and the space intensity distribution of the laser beam when condensing at a target 7 are controlled by this example. Although the reinforcement of the condensed laser beam is very high, since laser energy density still is not large all over the laser beam transmission line before being completed by the laser beam, a liquid crystal device can be inserted. The local control of permeability is easy for a liquid crystal device etc., and since the control technique is also established, it can constitute an economical and positive wave-front phase adjustment device. In addition, a transmitted light study component can use various kinds of optical elements besides liquid crystal that what is necessary is just that to which permeability or a refractive index can be changed.

[0041]

[Example 3] The laser pulse control unit of the 3rd example of this invention Although it is what utilized the optical system which has the same configuration as the so-called Mach-Zehnder interferometer and is the laser pulse generator which emits the laser beam which divided the ultrashort light pulse laser beam which carries out incidence, was run the respectively different optical path, compounded again, and was obtained While using an optical delay circuit, adjusting the optical path length in the optical path of the laser beam furthermore divided and giving time difference to a precedence pulse laser and a consecutiveness pulse laser, it is equipment which enabled it to adjust space intensity distribution for every pulse laser, using a good deformation mirror as a reflecting mirror.

[0042] The block diagram showing the configuration of the whole laser generator with which drawing 7 used the block diagram of the laser pulse control unit of this example, and drawing 8 used the laser pulse control unit of this example, The block diagram showing [ 9 ] another mode of the laser pulse control unit of this example, The block diagram showing mode with still more nearly another drawing 10 , the block diagram with which drawing 11 explains the directions of the output of this example equipment, The conceptual diagram and drawing 13 explaining the example of a configuration of the output pulse from which drawing 12 is obtained with the equipment of this example are a drawing explaining the operation when irradiating the output pulse of drawing 12 at an X-ray target.

[0043] To be shown in drawing 7 , the laser pulse control unit 40 of this example consists of reflecting mirrors 42 and 43 of 41 or 2 optical dividers, a photosynthesis machine 44, and an optical delay circuit 45 and ORC 46, and controls the space intensity distribution of a pulse laser and the time amount wave which are emitted from the pulse laser generator 47. With the photosynthesis vessel 44 which is divided into two laser beams by the optical divider 41 formed by the beam splitter BS, reflects with reflecting mirrors 42 and

43, respectively, and is formed by the beam splitter BS, the pulse laser which carries out incidence to the laser pulse control device 40 is unified again, and is emitted as a laser beam.

[0044] The optical delay circuits 45 and 46 arrange the reflecting mirror of four sheets to a serial, as shown in drawing 7, the distance between reflecting mirrors adjusts the optical path length, it is infixed into the optical path of each divided pulse laser, and the pulse laser divided by adjusting the optical path length makes the time of day which reaches the photosynthesis machine 44 produce few differences. The laser pulse control unit 40 of this example has the description at the place which uses a good deformation mirror for reflecting mirrors 42 and 43. A good deformation mirror is a reflecting mirror which can adjust the shape of surface type locally by an electrostriction component etc., and can adjust the space intensity distribution of the flux of light reflected by changing the reflective direction by partial \*\*\*\* of incoming beams. In addition, as for the adjustment in a good deformation mirror, it is desirable to carry out based on the space intensity distribution in the location on which a laser beam is made to act.

[0045] When ultrashort light pulse laser carried out incidence, after it was divided into two pulse lasers by the optical divider 41 and space intensity distribution are separately adjusted by the good deformation mirrors 42 and 43, respectively, incidence of the laser pulse control unit 40 of this example is carried out to the photosynthesis machine 44, and it becomes one laser beam again and is injected. Since the optical path lengths differ, a difference produces the divided pulse laser at the time of day which reaches the photosynthesis machine 44, and the laser beam compounded by one piece comes to be included in the form which gets two pulses mixed up slightly. Moreover, two pulses which get mixed up have different space intensity distribution, respectively.

[0046] Delicate adjustment is not only attained, but it can change the optical delay circuits 45 and 46 into two optical paths by equipping, respectively to the context of the division pulse laser which passes two optical paths. However, what is necessary is to insert an optical delay circuit only in one optical path, when what is necessary is just to give a transit-time difference to two division pulse lasers. The good deformation mirror DM may be applied only to one side of two reflecting mirrors 42 and 43.

[0047] The laser pulse control device 40 of this example is applicable to ultrashort light pulse laser equipment equipped with the chirp pulse multiplication mechanism. A chirp pulse multiplication mechanism consists of a pulse stretcher, a laser amplifier, and a pulse compression machine.

[0048] moreover, a long wave -- if the amount of Naganari supplies between the diffraction gratings by which a part for short wave Naganari is arranged in front in parallel in a broad pulse which is distributed back -- the relation of angle of reflection -- a long wave -- since the inside of the optical path for short wave Naganari becomes [ the optical path length for Naganari ] long short, width of face becomes narrow and the degree of concentration of the pulse emitted from a diffraction grating of energy improves. Such a diffraction-grating pair functions as a pulse compression machine. A chirp pulse multiplication mechanism lets ultrashort light pulse laser pass to the pulse stretcher which consists of optical fibers, extends pulse width, increases reinforcement through this to a laser amplifier, compresses pulse width through the pulse compression machine which consists of diffraction-grating pairs further, and is taken as the pulse laser of high intensity.

[0049] the output of a laser oscillation machine being boiled to some extent, stopping it, lengthening and extending through the output pulse to a pulse stretcher, amplifying the pulse which stopped peak power with a laser amplifier, operating orthopedically with a pulse compression vessel, and considering as the pulse laser of high peak power, when it is going to acquire the pulse of big energy by ultrashort light pulse laser, since a limitation is in the capacity of a laser oscillation machine is performed. Such a laser generator is realizable as equipment with compact extent which appears in an optical table. By arranging the laser pulse control unit 40 in the output location of such a laser generator, a laser generator which obtains the ultrashort light pulse laser which placed the time interval of arbitration and put in order two peak pulses from which space intensity distribution differ can be constituted in a compact simply and as a whole.

[0050] However, since a laser pulse control unit will be arranged in the output section of a pulse compression machine and laser reinforcement becomes very strong, the above-mentioned configuration has a possibility of doing serious damage for the configuration component which laser penetrates. Then, as shown in drawing 8, after preparing the shape of a pulse form with the laser pulse control unit 40 in the place which let the pulse laser emitted from the ultrashort light pulse laser oscillation machine 51 pass to a pulse stretcher 52 and pulse amplifier 53, it is desirable to contract pulse width by the pulse compression machine 54, and to make it make it emit with it. With such arrangement, risk of damaging the component which laser beams, such as a beam splitter in the laser pulse control device 40, penetrate falls, and it is effective in the life of equipment being extended.



[0051] By using the laser pulse control unit of this example, the ultrashort light pulse laser which arrives continuously with the time interval of ps level from fs can be specified not only to a time amount wave but to space intensity distribution, and can be generated now. Since especially the change rate in the elementary process of a chemical reaction process or a plasma process is set to ps from fs, the laser pulse control unit of this example can be used in order to control these processes to a precision.

[0052] Drawing 9 is a drawing explaining another mode of the laser pulse control unit of this example. The laser pulse control device 60 of this mode uses polarization beam splitter PBS for the optical divider 61 and the photosynthesis machine 64. Moreover, the plane-of-polarization rotation component 65 may be inserted in the upstream of the optical divider 61 if needed. Other configurations are the same as what was explained about drawing 7. The pulse laser which carries out incidence is divided into P polarization component and S polarization component by the optical divider 61, and it compounds with the photosynthesis vessel 64 through each at one laser beam to a separate optical path.

[0053] The optical divider 61 and the photosynthesis machine 64 use the polarization beam splitter of the same property. For example, polarization beam splitter PBS shall penetrate P polarization component, and shall reflect S polarization component. Then, the pulse laser which carried out incidence is divided into P polarization component which penetrates the optical divider 61, and S polarization component to reflect, reflect with the 1st reflecting mirror 42 which consisted of the 1st optical delay circuit 45 in the good deformation mirror DM in response to adjustment of the optical path length, and P polarization component has space intensity distribution adjusted, and incidence of it is carried out to the photosynthesis machine 64, and it is penetrated. Moreover, it reflects with the 2nd reflecting mirror 43, and S polarization component reflected by the optical divider 61 has space intensity distribution adjusted, and is reflected with the photosynthesis vessel 64 in response to adjustment of the optical path length in the 2nd optical delay circuit 46.

[0054] Each optical element is arranged so that it may be injected on the optical path with completely same P polarization component and S polarization component in the photosynthesis machine 64. Therefore, S polarization pulse to which the laser beam emitted from the laser pulse control unit 60 has the space intensity distribution of arbitration, and S polarization are the ultrashort light pulse laser which P polarization pulse which has the space intensity distribution of the independent arbitration got mixed up with the time interval of arbitration, and was located in a line. In addition, since polarization beam splitter PBS has the function to penetrate all polarization components of one of the two among P polarization which intersects perpendicularly mutually, and S polarization, and to reflect all the polarization components of another side, when re-compounding two polarization to one laser beam with the photosynthesis vessel 64, loss does not produce it.

[0055] Thus, according to the laser pulse control unit of this mode, ultrashort light pulse laser with two pulses which specified suitably space intensity distribution, the time amount wave, and the polarization condition can be obtained. In addition, energy allocation of the pulse in the ultrashort light pulse laser beam by which outgoing radiation is carried out from a pulse control device is controllable by arranging the plane-of-polarization rotation components 65, such as a Faraday cell, in the laser beam incidence location in the laser pulse control device 60 of this mode, carrying out incidence of the laser beam which has polarization distribution, such as the linearly polarized light and elliptically polarized light, changing the polarization condition of an incidence laser beam, and adjusting the ratio of P polarization and S polarization.

[0056] For example, it is observed that the rates of energy-absorbing of the plasma differ in P polarization and S polarization. Thus, it is expected by the reaction process which occurs with ultrashort light pulse laser changing with polarization conditions, and doing still more detailed research using the laser pulse control unit of this mode that the polarization allocation which optimizes a laser radiation product and process conditions can be checked. In addition, instead of using the plane-of-polarization rotation component 65 all over an incident light way, the Brewster aperture can be arranged in the oscillator of a laser generator, and energy allocation of the pulse in an outgoing radiation laser beam can also be controlled by adjusting the polarization condition of the laser beam rotated and generated in the circumference of an optical axis.

[0057] Drawing 10 is a drawing explaining still more nearly another mode of the laser pulse control unit of this example. The semitransparent mirror or half mirror HM which penetrates the one half of incident light in the optical divider 71 and the photosynthesis vessel 74, and reflects one half is used for the laser pulse control unit 70 of this mode. Other configurations are the same as what was explained about drawing 7. The one half rate of the pulse laser which carries out incidence is carried out by the optical divider 71, and it compounds with the photosynthesis vessel 74 through each to a separate optical path. With the photosynthesis vessel 74, since the one half rate of the laser pulse which carries out incidence is carried out,



respectively and it is made to reflect and penetrate from a 2-way, two laser beams which intersect perpendicularly will be emitted from the laser pulse control unit 70.

[0058] In each laser beam, two ultrashort light pulses are contained in the same condition, and as shown in drawing 11, the ultrashort light pulse laser which has a pulse train by two use systems 77 and 78 at once can be used. In addition, output laser can also be concentrated and used for one object using a reflecting mirror. For example, when concentrating two pulse lasers to an X-ray target, energy can be concentrated and a more powerful X-ray can be obtained. When condensing for one object, by adjusting the optical path length from the photosynthesis machine 74 to an object, the arrival time of a pulse laser is adjusted, four pulses become a train substantially, and incidence can be carried out. Moreover, the include angle of a reflecting mirror can also adjust whenever [ to an object / incident angle ].

[0059] With the laser generator which used the laser pulse control unit of each above-mentioned mode, two pieces or the pulse laser light located in a line four pieces can be obtained now at intervals of the period when the ultrashort light pulse laser with which space intensity distributions differ, respectively is very short. Moreover, it also became possible to obtain the pulse laser light which consists of a train of the ultrashort light pulse of P polarization and S polarization. In this way, the generated ultrashort light pulse laser beam can control various processes, such as separation of generation of particles, such as generating of electromagnetic waves, such as an X-ray and a gamma ray, or an atom, a molecule, ion, an electron, positive electron, a neutron, and a cluster, or composition and decomposition of a chemical or an element, an isotope, etc., by irradiate the various ingredients which have gestalten, such as a gas, a liquid, a solid-state, and plasma.

[0060] When the optimum state of the target process expresses with the specific curve in phase space, if only the number of the multipliers which specify the curve has a control variable, it can control by control of such various processes. And a process can be led to the condition near an optimum curve so easily that there are many control variables. The equipment of this example is effective in increasing such a control variable.

[0061] The example of the shape of a space form of the ultrashort light pulse laser beam which can be generated now with the laser generator which used the laser pulse control unit of this example was displayed on drawing 12. Although such an ultrashort light pulse group cannot be manufactured with the conventional technique, it is easily acquirable with the equipment of this example. It adjusts so that the optical path length of two optical paths may get a 15-micrometer difference by the optical delay circuit, the good deformation mirror formed in the optical path with the still shorter optical path length is adjusted, it is made for pulse lasers to gather for the surroundings of an optical axis, the good deformation mirror formed in the optical path with the longer optical path length is adjusted, and it is made for a pulse laser to condense in the shape of a circular ring in a laser pulse control unit.

[0062] Thus, the condition that two ultrashort light pulses of pulse width 20fs when incidence of the ultrashort light pulse laser with a width of face of 6 micrometers is substantially carried out to the adjusted laser pulse adjusting device, as shown in it at drawing 12 have located in a line and spread by the time difference of 50fs(es) appears. In addition, the shape of a pulse form shows what should be formed near the focus through condensing optical system. The width of face of a pulse is 6 micrometers, and the distance at the tips of a pulse is set to 15 micrometers. The precedence pulse is condensed with a diameter of 10 micrometers in the shape of a cylinder, and the consecutiveness pulse has the ring form with an outer diameter of 40 micrometers where it has a hole with a diameter of 20 micrometers.

[0063] Thus, generating the ultrashort light pulse laser operated orthopedically was that a thought does not come together depending on the conventional approach, either. In addition, such space intensity distribution and a time interval can be adjusted to arbitration independently of mutual. Moreover, as drawing 9 explained, polarization of the ultrashort light pulse which arrives almost simultaneously can be specified using a polarization beam splitter, respectively. Since an operation of ultrashort light pulse laser, such as an absorptivity of the plasma, may change with polarization, it is effective in making the degree of freedom of control increase by choosing polarization.

[0064] If an ultrashort light pulse laser train as shown in drawing 12 is irradiated at an X-ray target, the uniform temperature field which was suitable for X-ray generating over the larger field by the mechanism as shown in drawing 13 can be made. (a) of drawing 13 shows notionally intensity distribution when a precedence light pulse reaches a target. It is concentrating around an optical axis and the energy of a precedence pulse generates the plasma from a target front face. A condition when a circular ring-like consecutiveness light pulse reaches is shown notionally, the plasma from which the interior generated by the precedence light pulse around the optical axis became an elevated temperature exists, and the consecutiveness light pulse is irradiating drawing 13 (b) so that the perimeter may be surrounded. The space

intensity distribution of a consecutiveness light pulse have the ring form where a core is weak and where a periphery is strong, in the condensing location.

[0065] Drawing 13 (c) is a drawing in which the condition after an ultrashort light pulse disappears is shown notionally. If a consecutiveness light pulse is irradiated at the place where the plasma which the precedence light pulse generated spread suitably and the plasma is made to generate, since a consecutiveness light pulse will generate the plasma more efficiently than a precedence light pulse, if the intensity distribution and the arrival time interval of a pulse are chosen suitably, each plasma can develop, and it can be mixed mutually, and can migrate to a larger field, and a more uniform temperature field can be made. Therefore, by doubling plasma temperature with the generating conditions of the target X-ray, a property is stabilized, it can depend and a lot of X-rays can be generated. In this way, the ultrashort light pulse laser beam obtained is applicable to various kinds of laser processes, such as X-ray generating, particle generating, and a chemical reaction.

[0066]

[Example 4] The laser pulse control unit of the 4th example of this invention is equipment which uses two or more laser pulse control units of the 3rd example, and adjusted the combination of a pulse train. The block diagram in which drawing 14 shows the 1st mode of this example, and drawing 15 R> 5 are the block diagrams showing the 2nd mode of this example.

[0067] this example shown in drawing 14 -- a laser pulse control unit [ like ] obtains the laser beam which the ultrashort light pulse of four \*\*\*\* for 2 types followed in the laser pulse control unit using the semitransparent mirror HM which was explained by drawing 10 the 1st voice. This equipment carries out the laser beam emitted from the pulse laser generator 81 for 2 minutes by the optical divider 82 which consists of a semitransparent mirror HM, and injects it in the photosynthesis vessel 85 which becomes the 1st unit laser pulse control unit 83 from a semitransparent mirror HM about an output through one side. Moreover, incidence of another side of the divided laser beam is carried out to the photosynthesis machine 85 through the 2nd unit laser pulse control unit 84.

[0068] The unit laser pulse control units 83 and 84 attach merits and demerits to the optical path length, adjust time of concentration, and inject it outside while they are divided into two laser beams with a semitransparent mirror HM and adjust each space intensity distribution, as drawing 10 explained. Since the laser beam emitted from the unit laser pulse control units 83 and 84 has two ultrashort light pulses, respectively, if the optical path length is adjusted suitably, the laser beam compounded with the photosynthesis vessel 85 becomes that with which four ultrashort light pulses were located in a line along with the time-axis, and the space intensity distribution and time-of-concentration spacing of each ultrashort light pulse can be adjusted to arbitration.

[0069] In addition, since each laser beam has the component which penetrates the photosynthesis machine 85, and the component to reflect, from the laser pulse control unit of this mode, two laser beams which intersect perpendicularly mutually are emitted. Two laser beams may be irradiated and used for a different object, respectively, and you may make it irradiate one object using a reflecting mirror.

[0070] this example shown in drawing 15 -- the 2nd voice, a laser pulse control unit [ like ] is replaced with the unit laser pulse control unit which used the semitransparent mirror HM, and the laser pulse control unit using the polarization beam splitter PBS which was explained by drawing 9 is used for it. This equipment carries out the laser beam emitted from the pulse laser generator 81 by the optical divider 82 for 2 minutes, lets [ one side ] the 2nd unit laser pulse control unit 87 pass for through another side to the 1st unit laser pulse control unit 86, carries out incidence of each output laser beam to the photosynthesis machine 85, is compounded, and is outputted as two super-\*\*\*\* laser pulses.

[0071] The unit laser pulse control devices 86 and 87 attach merits and demerits to the optical path length, adjust time of concentration, and inject it outside while they make two laser beams generate and adjust each space intensity distribution by dividing a polarization component by the polarization beam splitter PBS, as drawing 10 explained. The laser beam emitted from the unit laser pulse control units 86 and 87 becomes that with which the ultrashort light pulse laser P1 and P2 which has P polarization, and the ultrashort light pulse laser S1 and S2 which has S polarization vacated the suitable time interval, and was connected. Therefore, from the laser pulse control unit of this mode, the two same laser beams with which four ultrashort light pulses which have the polarization which is one side, respectively were located in a line in order of arbitration with suitable spacing will be emitted in the direction which intersects perpendicularly mutually.

[0072]

[Effect of the Invention] Since it makes it possible to abundance-ize an actuation element and to control a laser reaction process to altitude more, since the space intensity distribution of ultrashort light pulse laser, a time amount wave, or a polarization condition can be adjusted by using the laser pulse-control approach and

equipment of this invention, application of the ultrashort light pulse laser in various industries is promoted. Moreover, if the X-ray generator or the X-ray generating approach of this invention is used, when generating the plasma with laser and making an X-ray emit, adjustment of an X-ray on the strength can be carried out, and the reinforcement of the X-ray of specific wavelength can be adjusted especially alternatively.

---

[Translation done.]



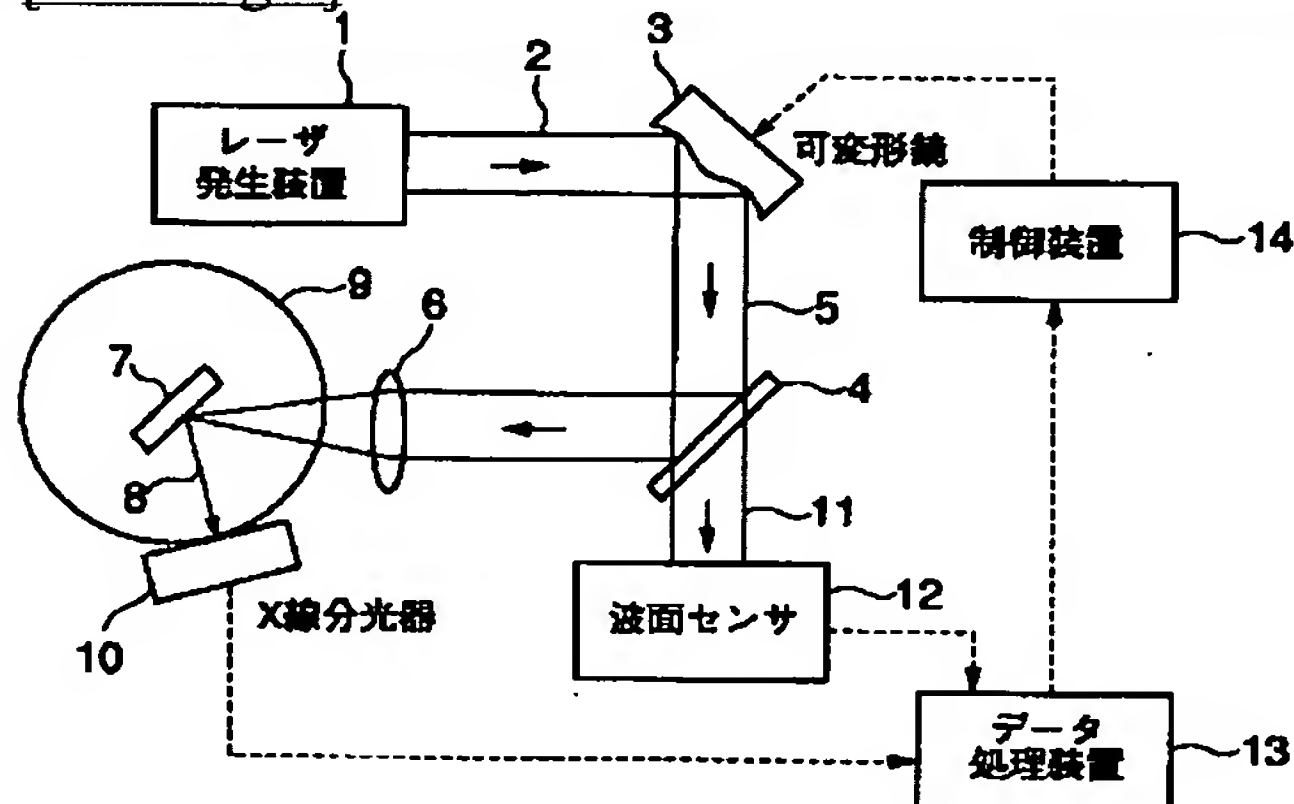
## \* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

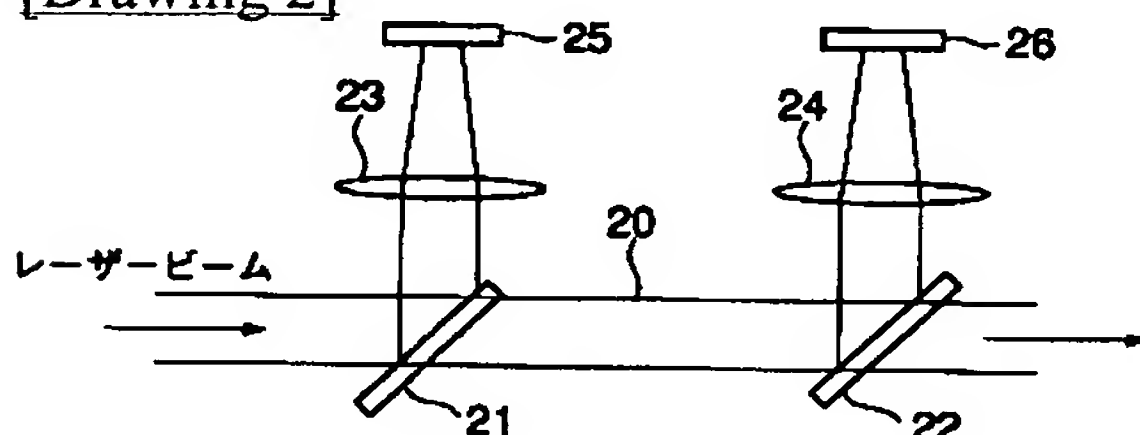
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

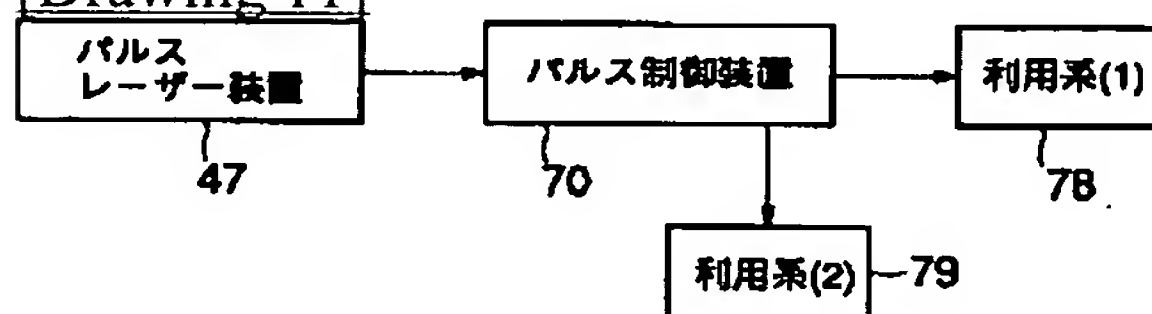
[Drawing 1]



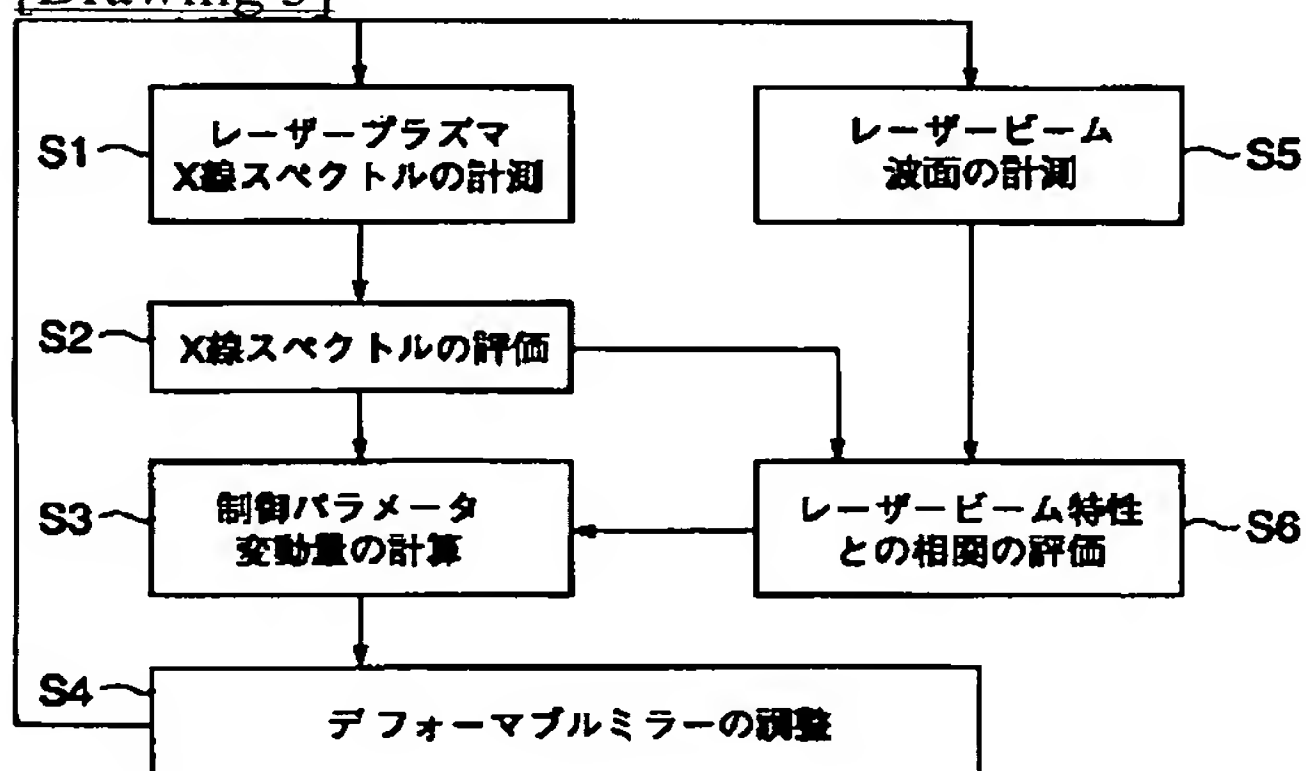
[Drawing 2]



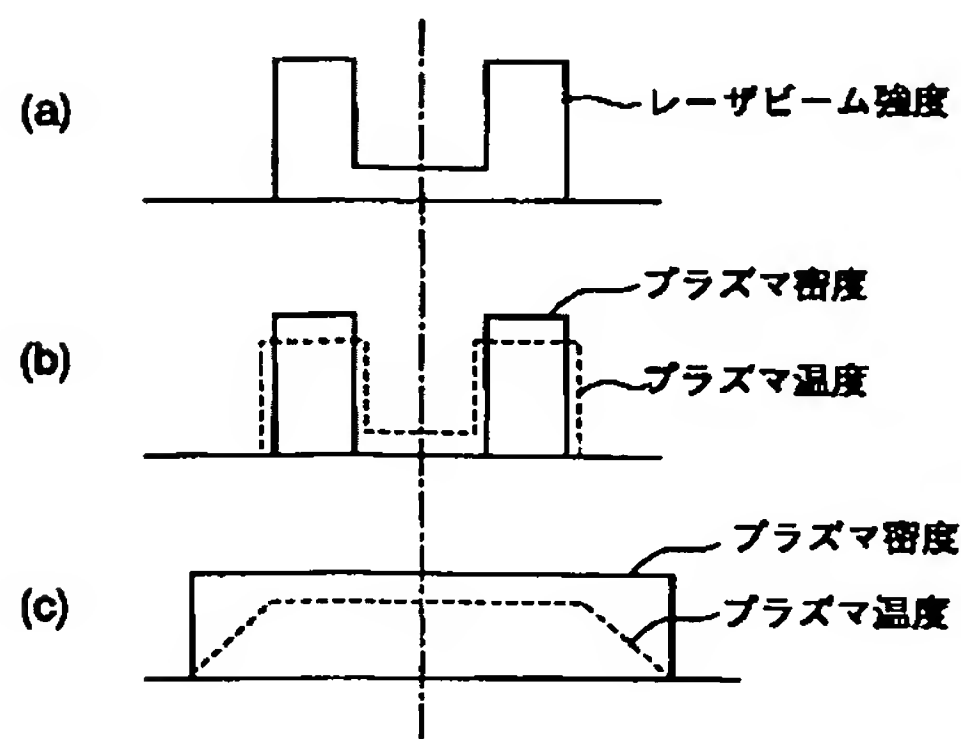
[Drawing 11]



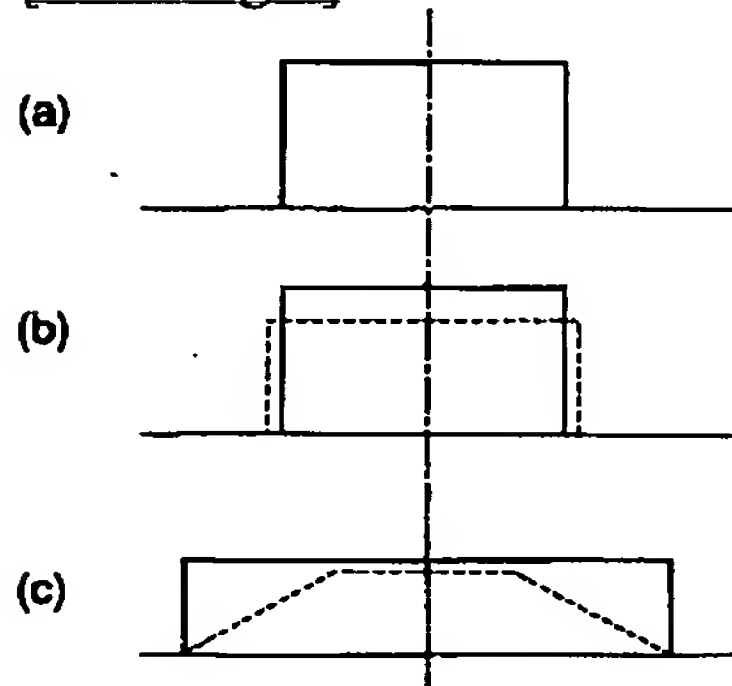
[Drawing 3]



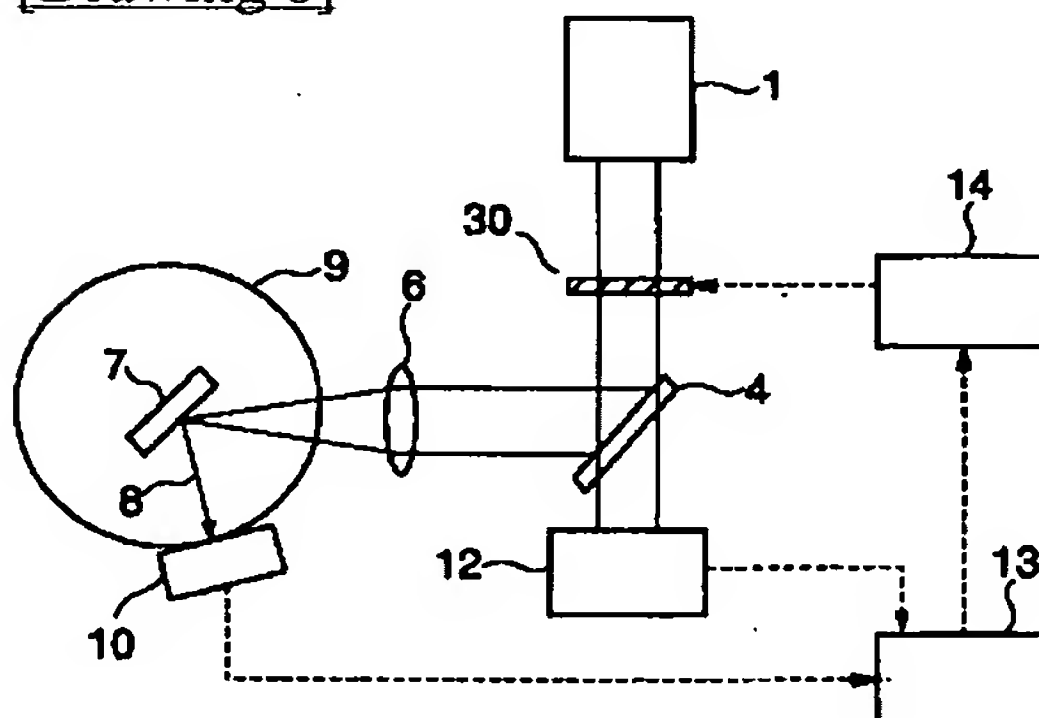
[Drawing 4]



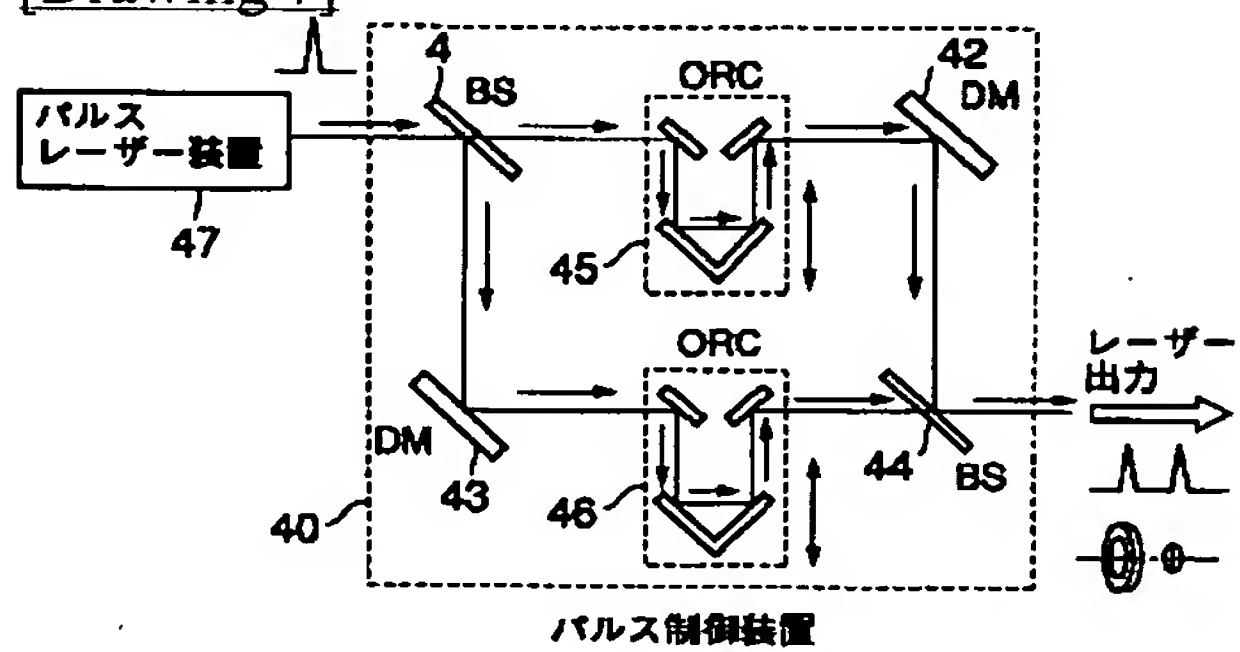
[Drawing 5]



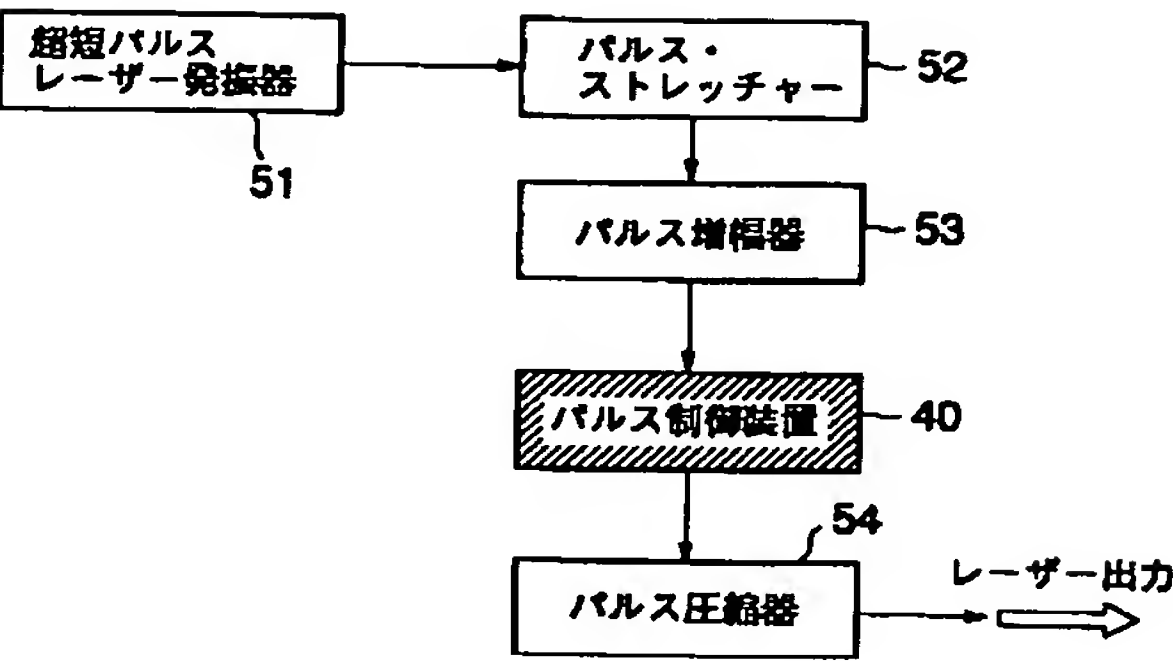
[Drawing 6]



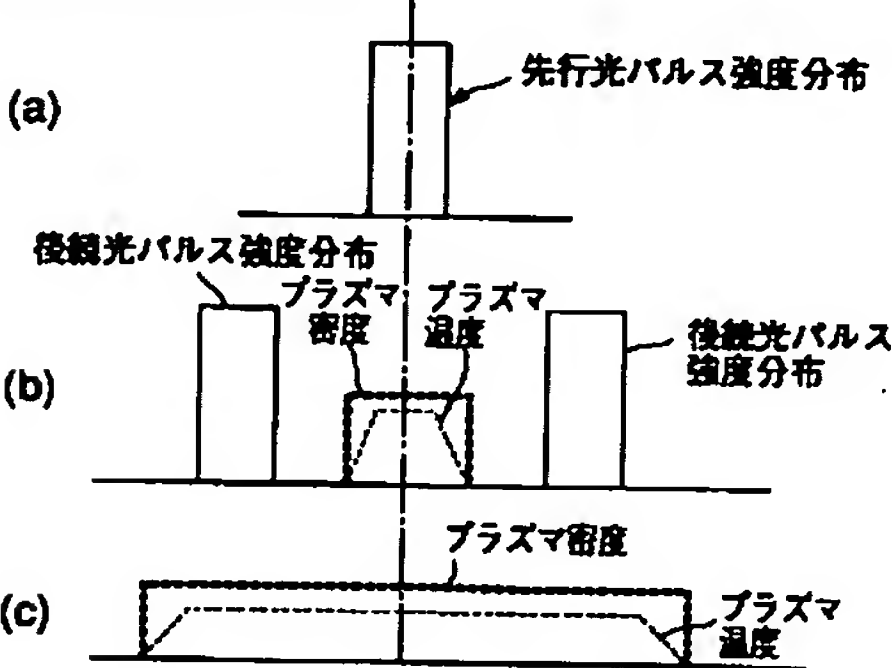
[Drawing 7]



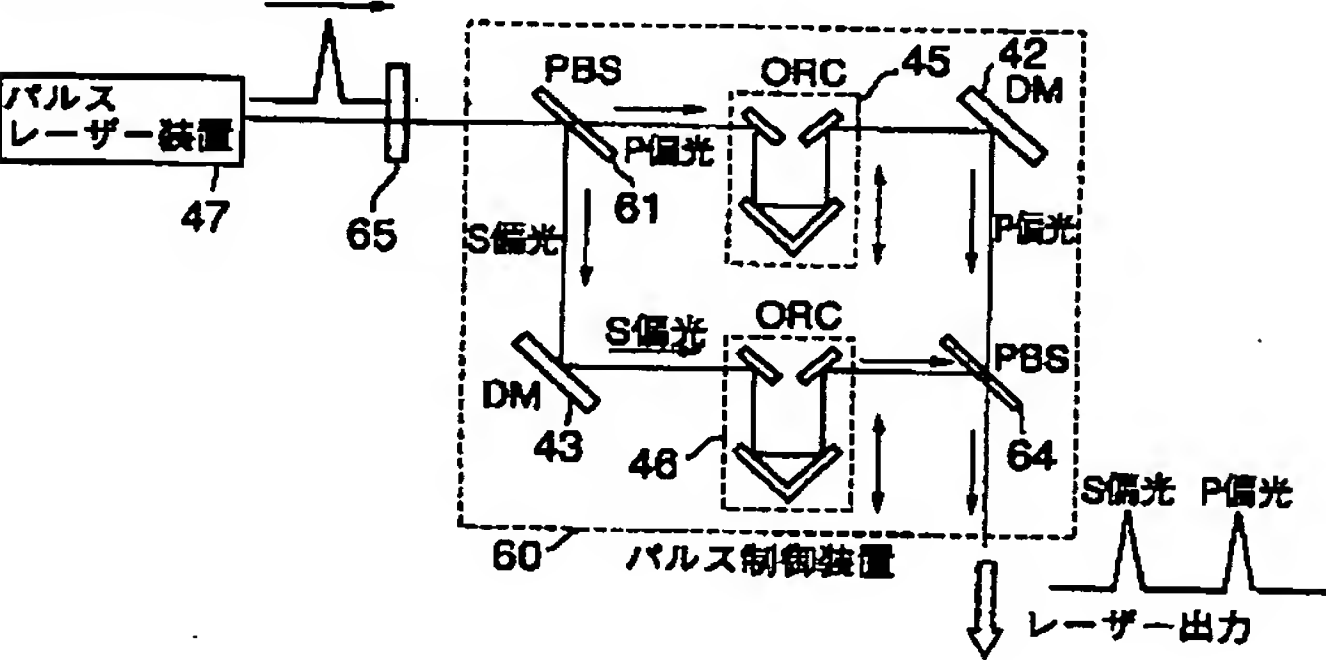
[Drawing 8]



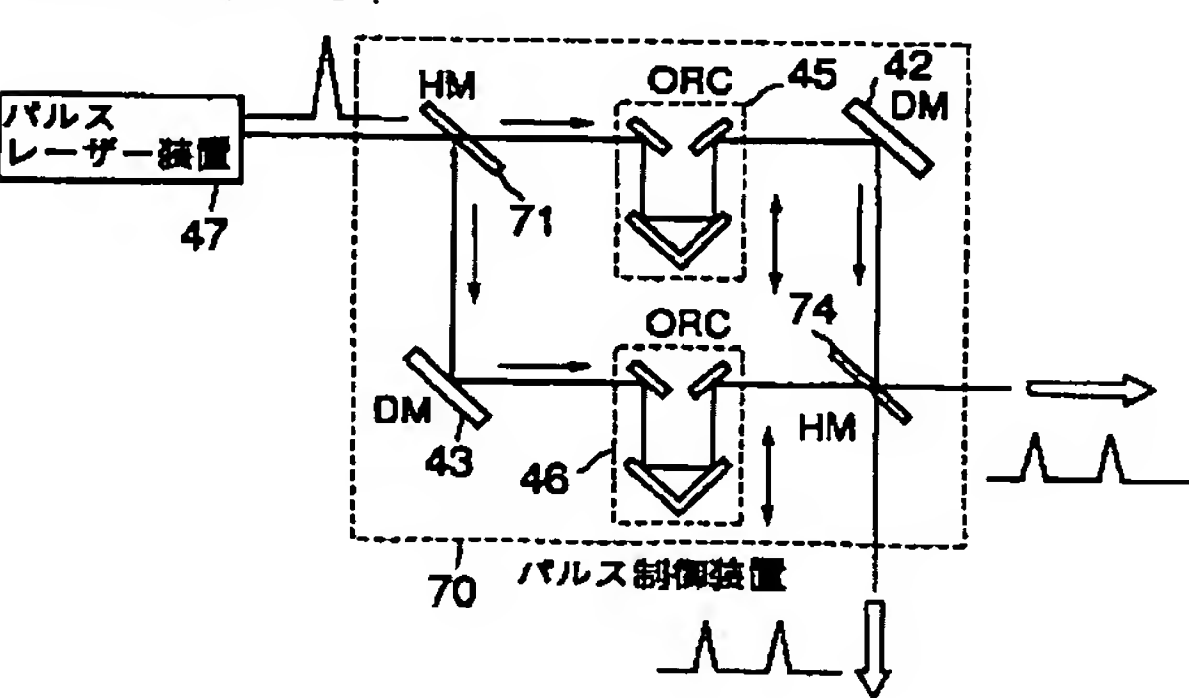
[Drawing 13]



[Drawing 9]

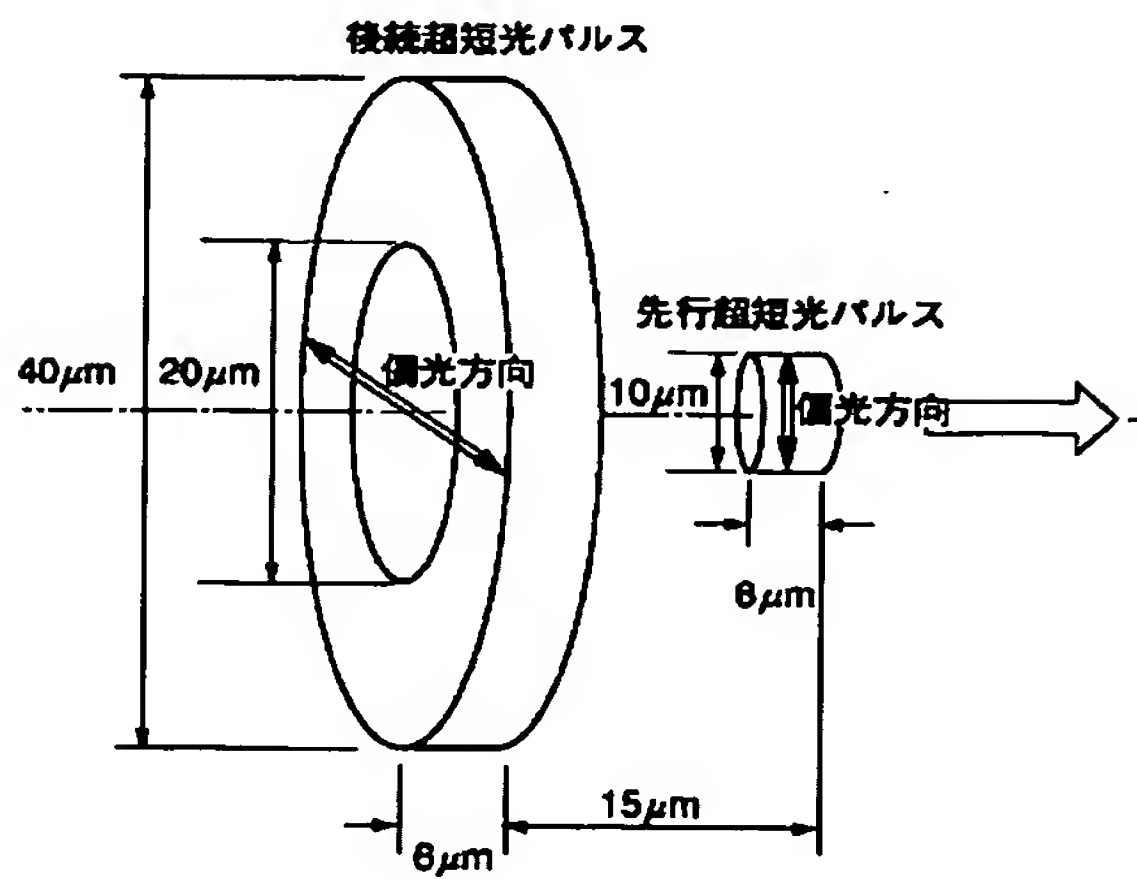


[Drawing 10]

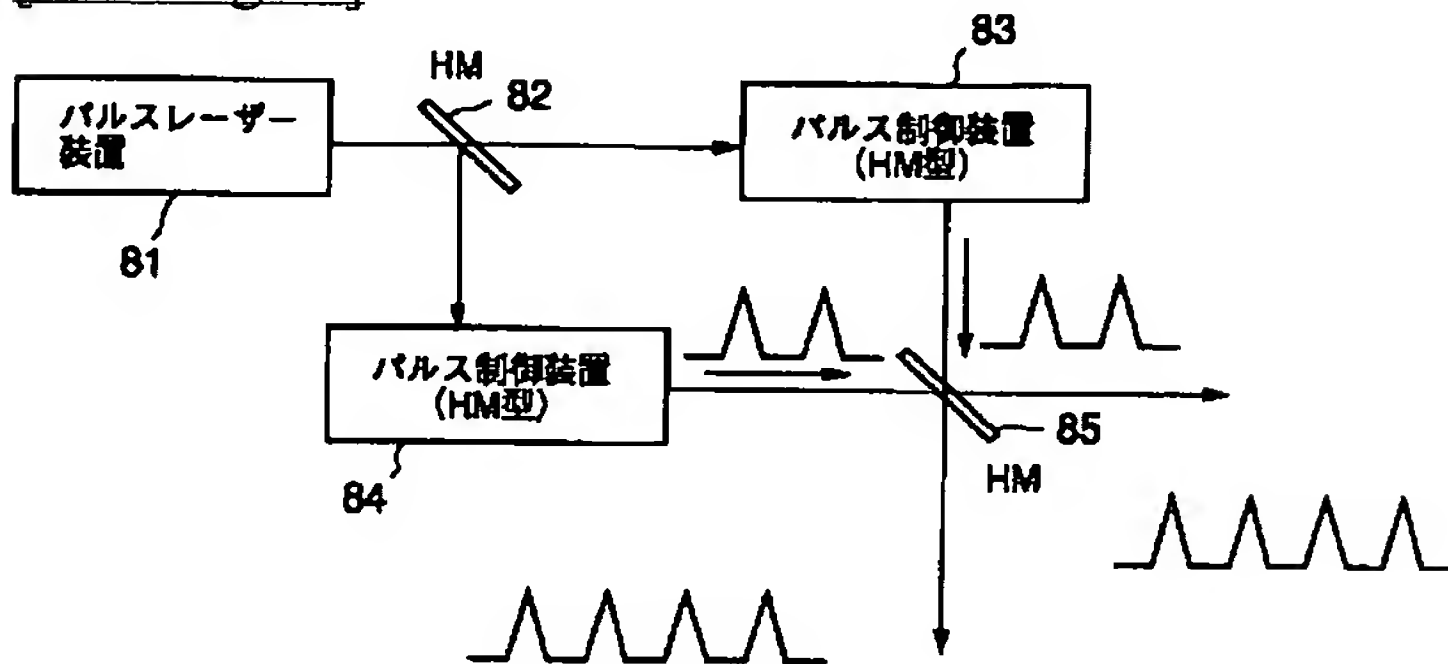


[Drawing 12]

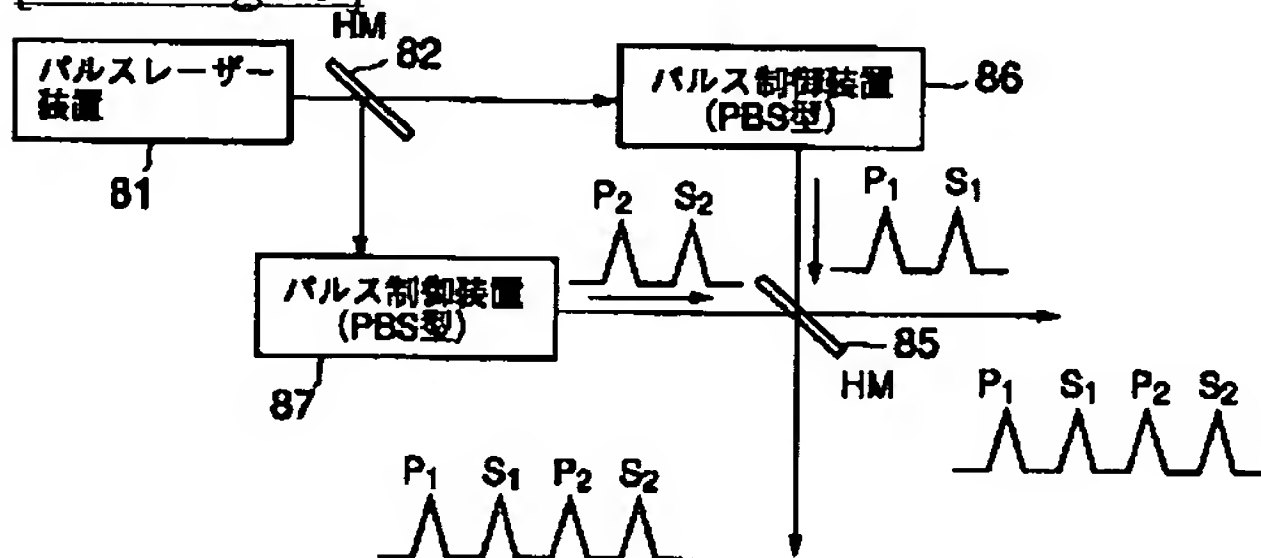




[Drawing 14]



[Drawing 15]



[Translation done.]